

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra aplikované mechaniky

Optimalizace nosného projektorového rámu světlometu

The Optimization of the Headlight Projector Carrying Frame



Student:

Bc. Robert Mališ

Vedoucí práce:

doc. Ing. Jiří Podešva, Ph.D.

Ostrava 2018

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Robert Mališ**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3901T003 Aplikovaná mechanika
Téma: **Optimalizace nosného projektorového rámu světlometu**
The Optimization of the Headlight Projector Carrying Frame
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Popis a analýza stávajícího designu rámu z materiálu A
2. Srovnání materiálových vlastností materiálu A a B
3. Záměna materiálu A za materiál B a srovnání výsledků analýzy MKP pro totožný design rámu
4. Optimalizace návrhu rámu světlometu z materiálu B
5. Srovnání původního rámu z materiálu A s optimalizovaným rámem z materiálu B
6. Závěr, doporučení způsobu aplikace při použití materiálu B pro nosné rámy v budoucnosti

Seznam doporučené odborné literatury:

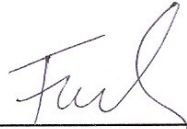
- [1] Kolář V., Němec I., Kanický V. : FEM Principy a praxe metody konečných prvků. Computer Press, 1997.
- [2] Kolář V., Kratochvíl J., Leitner F., Ženíšek A. : Výpočet plošných a prostorových konstrukcí metodou konečných prvků. SNTL, Praha 1979.
- [3] Crisfield M. A. - Non-linear finite element analysis of solids and structures. John Wiley & Sons Ltd, Baffins Lane, Chichester, 1997.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jiří Podešva, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018


Ing. Martin Fusek, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Jiřímu Podešvovi, Ph.D., za podporu, trpělivost a za cenné rady a připomínky.

Děkuji také Ing. Martinu Zigmundovi, Davidu Klimentovi a Ing. Adamu Turovskému, rovněž za cenné rady, připomínky a umožnění vypracování této diplomové práce.

V neposlední řadě děkuji své rodině za podporu po dobu celého svého studia.

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 21.5.2018

Robert Malis
.....

podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo,
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3),
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO,
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 21.5.2018

Robert Mališ

podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Robert Mališ

Adresa trvalého pobytu autora práce: Fučíková 4/90, 742 35 Odry

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

MALIŠ, R. *Optimalizace nosného projektorového rámu světlometu: diplomová práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra aplikované mechaniky, 2018, 79 s. Vedoucí práce: Podešva, J.

Diplomová práce se zabývá optimalizací projektorového nosného rámu předního světlometu. Cílem práce je nosný rám z materiálu A nahradit nosným rámem z materiálu B tak, aby se vyrovnaly nebo zlepšily mechanické vlastnosti nosného rámu při dostatečné tuhosti a nejnižší možné hmotnosti. Pro využití nosného rámu v automobilovém průmyslu je nutno dosáhnout konkrétní hodnoty první vlastní frekvence. Je realizován experiment na modální analýzu nosného rámu. Teoretická část je věnována popisu, historií a vývojovým trendům světlometu. V praktické části je proveden experiment modální analýzy, srovnání dvou materiálů na stejném rámu, optimalizace rámu, srovnání dvou materiálů původního rámu s optimalizovaným rámem a doporučení k sériové výrobě nosného rámu.

ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

MALIŠ, R. *The Optimization of the Headlight Projector Carrying Frame: Diploma Thesis.* Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Applied Mechanics, 2018, 79 p. Thesis head: Podešva, J.

The diploma thesis deals with the optimization of projector carrying frame of the front headlamp. The aim of the work is to replace the carrying frame of material A by carrying frame of material B keep the mechanical properties or improve them with sufficient stiffness and with weight as the lowest as it is possible. For using carrying frame in the automotive industry, it is necessary to achieve a specific value of the first natural frequency. The experiment is realized on modal analysis. The theoretical part is devoted to the description, history and progression trends of the headlamp. In the practical part there is realized experiment of modal analysis, comparison of both materials on the same carrying frame, optimization of the frame, comparison of both materials of the original frame with optimized frame and recommendations to series production of carrying frame.

Obsah

1	Úvod.....	11
1.1	Obecné informace – světlomety	12
1.2	Zadavatel diplomové práce	12
1.3	Historie světlometů	14
1.3.1	Acetylenové lampy	14
1.3.2	Halogenové žárovky	15
1.3.3	Xenonové žárovky	15
1.3.4	Světlomet s LED diodami	16
1.3.5	Laserový světlomet.....	16
1.4	Konstrukce světlometu	17
1.4.1	Adaptivní světlomet.....	17
1.4.2	LED Matrix	18
1.5	Vývojový postup nového světlometu	19
2	Stanovení výpočtů rámu a potřebných kritérií	20
2.1	Zadaná kritéria pro nosný rám	21
3	Srovnání materiálových vlastností Zytel a Impet.....	22
3.1	Impet 2700 GV1/45 (PET-GF45) versus Zytel (PA6T/XT-GF35)	28
4	Tvorba sítě.....	32
4.1	Tvorba sítě nosného rámu	38
4.2	Okrajové podmínky	39

5	Experiment modální analýzy.....	42
5.1	Popis experimentu modální analýzy	42
5.2	Použitá měřicí aparatura a software.....	44
5.3	Materiál prototypu	44
5.4	Srovnání experimentu s konečnoprvkovým výpočtem.....	47
5.4.1	První vlastní tvar.....	47
5.4.2	Druhý vlastní tvar	48
5.4.3	Třetí vlastní tvar	48
5.4.4	Čtvrtý vlastní tvar	49
5.4.5	Pátý vlastní tvar	50
5.4.6	Šestý vlastní tvar.....	51
5.5	Experiment materiálových vlastností.....	52
5.6	Hledání modulu pružnosti shodujícího se s experimentem	53
6	Záměna materiálu Zytel za materiál Impet a srovnání výsledků analýzy MKP pro totožný design rámu.....	54
7	Optimalizace návrhu rámu světlometu z materiálu Impet	55
7.1	První varianta.....	55
7.2	Druhá varianta.....	59
7.3	Třetí varianta.....	63
7.4	Čtvrtá varianta.....	67
7.5	Pátá varianta.....	70

8	Srovnání původního rámu z materiálu Zytel s optimalizovaným rámem z materiálu Impet	74
9	Závěr, doporučení způsobu aplikace při použití materiálu Impet pro nosný rám.	75
10	Seznam použité literatury	79

Seznam použitých cizojazyčných výrazů, značek a zkratek

CDB	soubor obsahující pouze MKP síť
Hight Beam	projektor, ze kterého svítí dálkové světlo
Housing	zadní kryt světlometu
IGES	univerzální soubor pro převod geometrického modelu mezi softwary
LED	elektroluminiscenční dioda
Low Beam	projektor, z kterého svítí potkávací světlo
STEP	univerzální soubor pro převod geometrického modelu
SW	zkratka pro slovo software

1 Úvod

Česká republika s ostatními zeměmi EU prožívá čtvrtou průmyslovou revoluci, zkráceně Průmysl 4.0. K jejím klíčovým složkám patří digitalizace, robotizace, automatizace a zavádění umělé inteligence. Výrobci, pokud budou chtít zůstat konkurenceschopní a efektivní, budou stále více naléhat na nové technologie, buď zvýšeným tempem na automatizaci, nebo dokonce vývojem vzájemně komunikujících robotů. Investice se nám dnes do umělé inteligence zdají drahé, ale v příštích deseti letech se ceny výrazně sníží. Automobilový průmysl, je páteří naší ekonomiky, je soustředěn nejen na výrobu, ale i výzkum, vývoj a inovace. Již dnes jsou běžné automatizované systémy řidiče a jejich význam bude stále vzrůstat až plnému autonomnímu provozu. Inteligence autonomních aut je již dnes na špičkové úrovni, umí sama ovládat auto na základě dat z okolního prostředí, ale jedna ze schopností jí zatím chybí, tou je možnost vidět za roh anebo odhalit překážku číhající za zatáčkou či budovou. I když se autonomní auta již ověřují v provozu, zůstává stále otázka, zda budou lidé zcela důvěřovat technologiím, zda jsou řidiči připraveni vzdát se řízení a odpovědnosti za případnou nehodu.

V dnešní průmyslové době je rychlým vývojovým stádiem zasažen i automobilový průmysl, který je v tlaku nemalé světové konkurence. Celý automobilový průmysl, všechny automobilky a jejich subdodavatelé se zaměřují na vývoj, výrobu, marketing a prodej. Automobilový průmysl úzce souvisí nejen se strojírenským průmyslem, ale také s chemickým průmyslem a v neposlední řadě také s elektrotechnickým průmyslem.

Rychlý vývoj technologií je v dnešní době nezadržitelný. Především v elektrotechnice nové výrobky rychle ztrácí na hodnotě a jsou považovány již v průběhu krátkého časového úseku za zastaralé, protože neobsahují nové výkonnější, vzhledově atraktivnější, ekonomicky a ekologicky výhodnější prvky. Firmy investují spousty finančních prostředků do výzkumu, vývoje a tzv. chytrých technologií.

V dnešní době je automobil součástí každodenního života lidí vyspělé země. Lidé si vybírají své automobily dle různých parametrů, nejdůležitější z nich jsou určitě bezpečnost, spolehlivost, vzhled, odolnost, cena, kvalita, vnitřní prostor, jednoduché ovládání a co nejmenší dopad na životní prostředí. Tak jako při prvním setkání s osobou si všímáme obličeje a očí, tak většinou při prvním setkání s automobilem si všímáme jeho čelního vzhledu a jeho světlometů, což jsou vlastně oči automobilu. Světlomety jsou umístěny

a konstruovány tak, aby bylo zřejmé, do jaké kategorie automobil zařadit, např. mezi vozy užitkové, velkoprostorové, rodinné, terénní, sportovní, luxusní a atd. Proto i výrobci světlometů nesmí zaostávat za celkovým vývojem automobilů, jejich vývojový trend je kompromisem mezi esteticky laděným moderním vzhledem, elektrotechnickou dovedností, výkonem, cenou a bezpečností.

1.1 Obecné informace – světlomety

Světlomet se vždy skládal ze zdroje světla, zadní paraboly a předního skla. Současné světlomety mají další přídavné díly, jako jsou clony, čočky, okrasné kroužky, rámy, řídicí jednotky, chladičové zařízení, větráky atd. Každá z automobilek se zaměřuje na estetický vzhled světlometu, který je jednou z charakteristik pro jejich značku automobilu. Prvotním požadavkem každého světlometu zůstává co nejvyšší osvětlení vozovky a jejího okolí a pro řidiče co nejkomfortnější obsluha. Proto vývoj dokonalého světlometu trvá i několik let.

Světla v automobilovém průmyslu nejsou jen potkávací a dálková, ale nezbytná jsou i varovná, obrysová, koncová, brzdová, směrová, mlhová, pro denní svícení, pro osvětlení registrační značky a pro vnitřní osvětlení

1.2 Zadavatel diplomové práce



Obrázek 1 - Logo Varroc Lighting Systems [4]

Varroc Lighting Systems, s.r.o. je zadavatelem této diplomové práce. Firma má mnohaletou historii v odvětví výroby a vývoje osvětlení pro automobilový průmysl. Vznik tohoto podniku na území České republiky se datuje od roku 1879. Zakladatelem podniku byl Josef Rotter, který založil v Novém Jičíně nejprve jen malou dílnu, kterou pojmenoval Joro. V dílně se vyráběly lampy, které osvětlovaly tehdejší drožky a kočáry tažené silnými koňmi. Firma se začala rozvíjet a expandovat až s nástupem rozvoje automobilového průmyslu. Roku 1950 byl změněn název firmy na Autopal, který byl nejrozšířenější, a dokonce se neoficiálně používá dodnes. Dalším vývojovým milníkem firmy byl přelom tisíciletí, kdy společnost Ford Motor Company založila společnost Visteon, která převzala všechny závody Autopal v České republice s cílem globálního posílení a rozšíření značky. Poslední změna vlastníka firmy přišla v roce 2012, kdy se přejmenovala na Varroc Lighting Systems s.r.o. Časová osa historického vývoje firmy je znázorněna na obrázku 2. Varroc Lighting Systems s.r.o. je celosvětovým výrobcem světlometů, který se zabývá designovým řešením a inovativním produktovým vývojem systémů vnějšího osvětlení automobilů. K hlavním technologiím patří: matrixová technologie, automatická dálková světla (ADB), LED, organické LED (OLED) a elektronické řídicí moduly. Varroc Lighting Systems s.r.o., patří do skupiny Varroc Group, která působí na čtyřech kontinentech.

Vedení koncernu sídlí v Plymouthu ve státě Michigan v USA. Firma Varroc Lighting Systems s.r.o., patří do skupiny Varroc Group sídlící v Indii. Osvětlovací systémy jsou vyráběny v moderních závodech nejen v České republice, ale i Indii, Číně, Mexiku a Maroku.

V České republice sídlí tři pobočky. Největší pobočka je v Šenově u Nového Jičína, kde sídlí nejen vedení firmy pro Českou republiku, ale je zde jedno z nejrozšířenějších vývojových a výrobních center. Druhá pobočka je umístěna v Rychvaldu na Karvinsku, kde je převážně výroba. Třetí pobočka je vývojovým centrem se sídlem v Ostravě.

Zákazníci Varroc Lighting Systems s.r.o. jsou širokého spektra, např.: Ford, koncern JRL (Jaguar, Land Rover), koncern PSA (Peugeot, Citroën, Opel) a Volkswagen Group (Volkswagen, Škoda Auto, Bentley). Společnost Varroc Lighting Systems s.r.o. je tedy elitním výrobcem a vývojářem vnějšího osvětlení špičkových světových automobilových značek. Současnou snahou společnosti je proniknout do oblasti osvětlení jednostopých vozidel.



Obrázek 2 - Historický vývoj Varroc Lighting Systems [5]

1.3 Historie světlometů

Zdroj světla je nejdůležitější částí světlometu, který prošel v posledních dvou stoletích rychlým inovativním vývojem.

1.3.1 Acetylenové lampy

Prvními světlometry automobilů byly acetylenové lampy, používané koncem 19. století. Ve srovnání s petrolejovými lampami byly odolné vůči přírodním vlivům, proto jich mohlo být využíváno k osvětlení prvních automobilů. Acetylenová lampa je na obrázku 3.



Obrázek 3 - Acetylenová lampa [6]

1.3.2 Halogenové žárovky

Začátkem 20. století s rozšiřujícím se využíváním elektrické energie, přichází elektrická světla, nejprve to byly žárovky s wolframovým vláknem, které se umísťovaly do kruhových světlometů, později se tyto žárovky s wolframovým vláknem plnily inertním plynem prodlužující životnost žárovky (dodnes používané žárovky halogenové). Žárovky jsou levné a snadno vyměnitelné. Halogenová žárovka je znázorněna na obrázku 4.



Obrázek 4 - Halogenová žárovka [7]

1.3.3 Xenonové žárovky

Xenonová žárovka je účinnější než halogenová žárovka. Rozdíl mezi halogenovou a xenonovou žárovkou je ve využití odlišného inertního plynu. Výhodou xenonové žárovky je vyšší svítivost při stejném odběru elektrické energie, ale za vyšší pořizovací náklady. Xenonová žárovka je zobrazena na obrázku 5.



Obrázek 5 - Xenonová žárovka [8]

1.3.4 Světlo met s LED diodami

Novodobým zdrojem světla jsou LED diody, které mají oproti žárovkám mnohonásobně delší životnost. LED dioda vysílá teplo v opačném směru světla, proto musí být tato skutečnost brána při návrhu světlo metu v úvahu a je nutno zajistit chlazení. V případě poruchy světlo metů s LED diodami je nutná kompletní výměna světlo metu. Světlo met s LED diodami je znázorněn na obrázku 6.



Obrázek 6 - LED diody ve světlo metu [9]

Velmi rozšířená varianta je kombinace žárovky s LED diodami. U této kombinace se zachovávají výhody obou zdrojů světla a částečně eliminují jejich nevýhody.

1.3.5 Laserový světlo met

Inovativním prvkem automobilového průmyslu jsou vyvíjené laserové světlo mety. Jejich předností je vysoká svítivost s dvojnásobným dosahem světelných paprsků v porovnání s LED diodami. Tato inovace zlepší viditelnost v horších klimatických podmínkách a v noci. Laserových světlo metů se využívá pouze pro dálková světla, protože jejich světelné paprsky nelze přesně regulovat. Laserové světlo je přibližně o 30 % efektivnější než LED světlo. Laserový světlo met je zobrazen na obrázku 7.



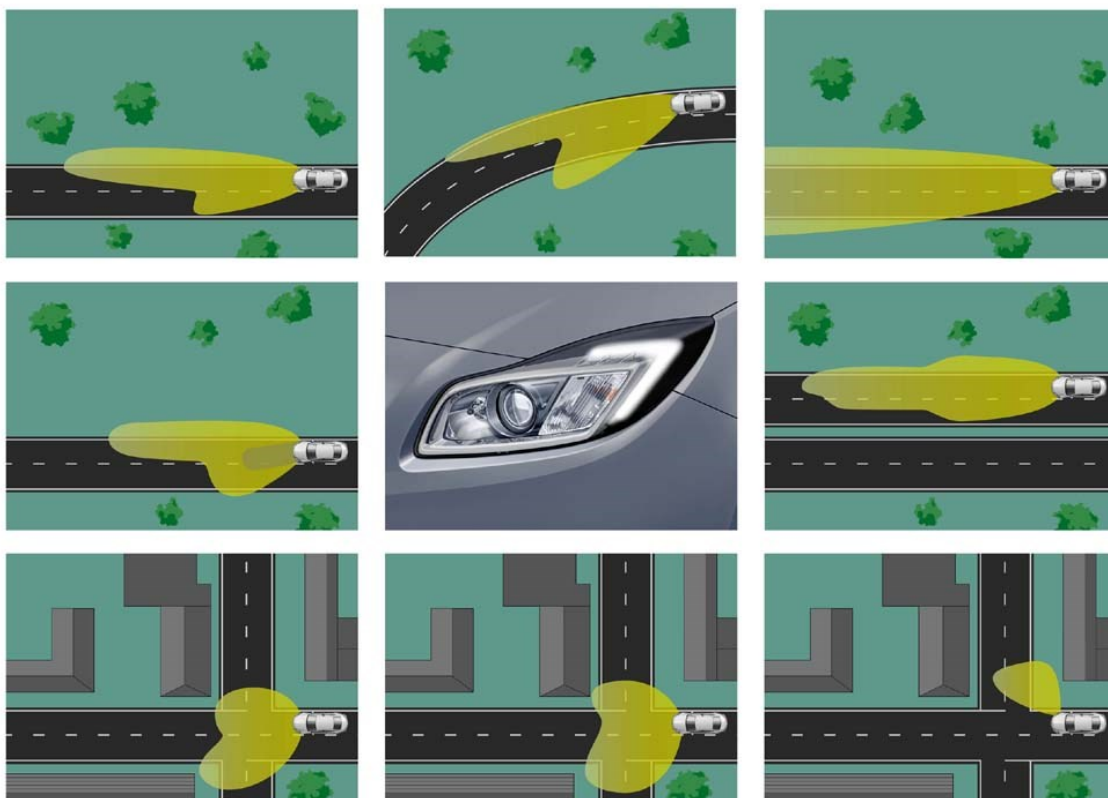
Obrázek 7 - Světlomet s laserem [10]

1.4 Konstrukce světlometu

Současné světlometry oproti dřívějším jednoduchým světlometům, které se skládaly z hliníkových reflektorů, skla (případně průhledného plastu) a žárovky, jsou s jejich narůstající kvalitou, požadavky na bezpečnost a estetický vzhled mnohem složitější, je nutné zakomponovat mnoho dalších dílů, kterými jsou rámy, diody, clony, čočky, okrasné kroužky, řídicí jednotky, větráky a estetické prvky.

1.4.1 Adaptivní světlomet

Tento inteligentní multifunkční natáčecí světlomet pracuje v závislosti na natočení volantu, ale i rychlosti jízdy a tím zvyšuje bezpečnost jízdy při snížené viditelnosti. Adaptivnímu světlometu se přibližuje kombinace, potkávajícího světla s mlhovým světlem, tak, že při projíždění zatáčkou se s rozsvíceným potkávacím světlem zároveň rozsvítí žárovka umístěna v předním mlhovém světlometu. Tato kombinace přispívá ke zlepšení viditelnosti v zatáčce, ale je nesrovnatelná s adaptivním světlometem. Na obrázku 8 jsou příklady natáčení adaptivního světlometu.



Obrázek 8 - Ukázka funkcí adaptivního světlometu [11]

1.4.2 LED Matrix

Dalším stále vyvíjejícím se systémem je světlomet LED Matrix. Tato nová inteligentní přední světla aut rozpoznávají, kam a kdy mají svítit. Rozeznávají protijedoucí automobil nebo chodce, který není oslněn, a přesto ho zřetelně osvítlí. Tento systém na rozdíl od klasického světlometu, který disponuje jedním zdrojem světla, má maticí uspořádaných světelných modulů, které se rozsvěčují nebo zhasínají nezávisle na sobě. Je natolik inteligentní, že umí svítit tak, aby světelný klín nezasahoval protijedoucí vozidla. V případě vlhké vozovky Matrix systém nastaví světelný paprsek tak, že řidič není oslněn. Matrix systém mají luxusní značky nebo vlajkové automobily běžných značek. Obrázek 9 názorně srovnává běžný systém se systémem LED Matrix.



Obrázek 9 - Srovnání klasického světlometu se světlometem systému Matrix [12]

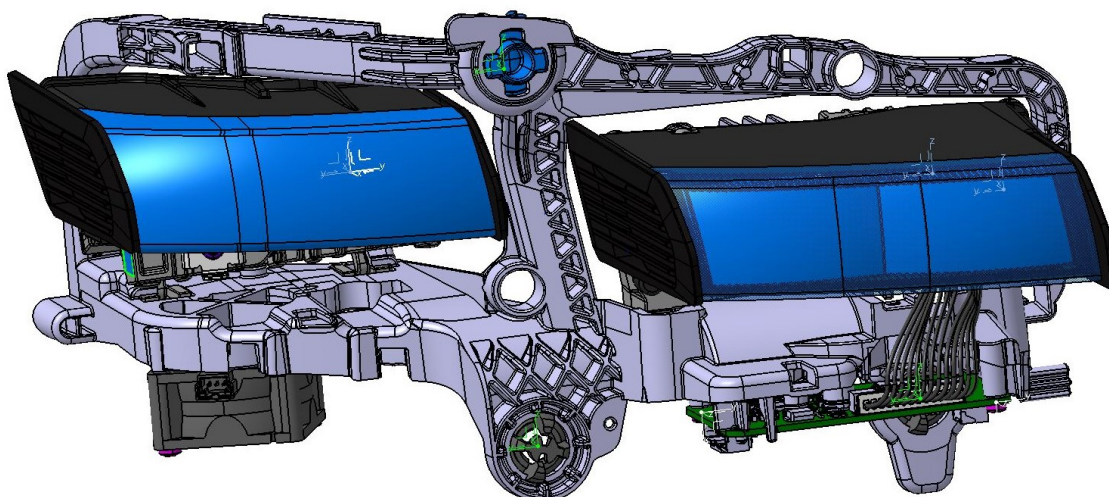
1.5 Vývojový postup nového světlometu

Nejprve je to konstruktér, který zohlední všechny požadavky zadavatele a vypracuje první návrh světlometu. Jakmile zadavatel návrh odsouhlasí, výpočtář provede několik základních výpočtů. Prvním z nich je výpočet termomechaniky (vliv zdroje světla na okolí) světlometu, kondenzace a dekonenzace uvnitř světlometu. Druhá část výpočtu se věnuje mechanickým vlastnostem světlometu, to jsou výpočty např.: vlastní frekvence, tuhosti struktury a crash testy. Dobu výpočtů nelze přesně stanovit, neboť první výpočty mají obvykle odchylky a musí se doladovat s návrhem konstruktéra, a naopak konstruktér pak mění parametry světlometu dle požadavků výpočtáře. Po odladění výpočtového modelu se vyrábí jen několik kusů světlometů, na kterých jsou prováděny experimentální zkoušky. Experimentální zkoušky se uskutečňují ve speciálních místnostech, kde jsou světlomety simulačně vystaveny přírodním extrémům (teplotě a vlhkosti), zkoumá se těsnost světlometů, míra kondenzace a dekonenzace, na vibračním stole probíhá vibrační zkouška. Konečné výsledky zkoušek musí být v souladu s výsledky výpočtáře a odpovídat požadavkům zadavatele

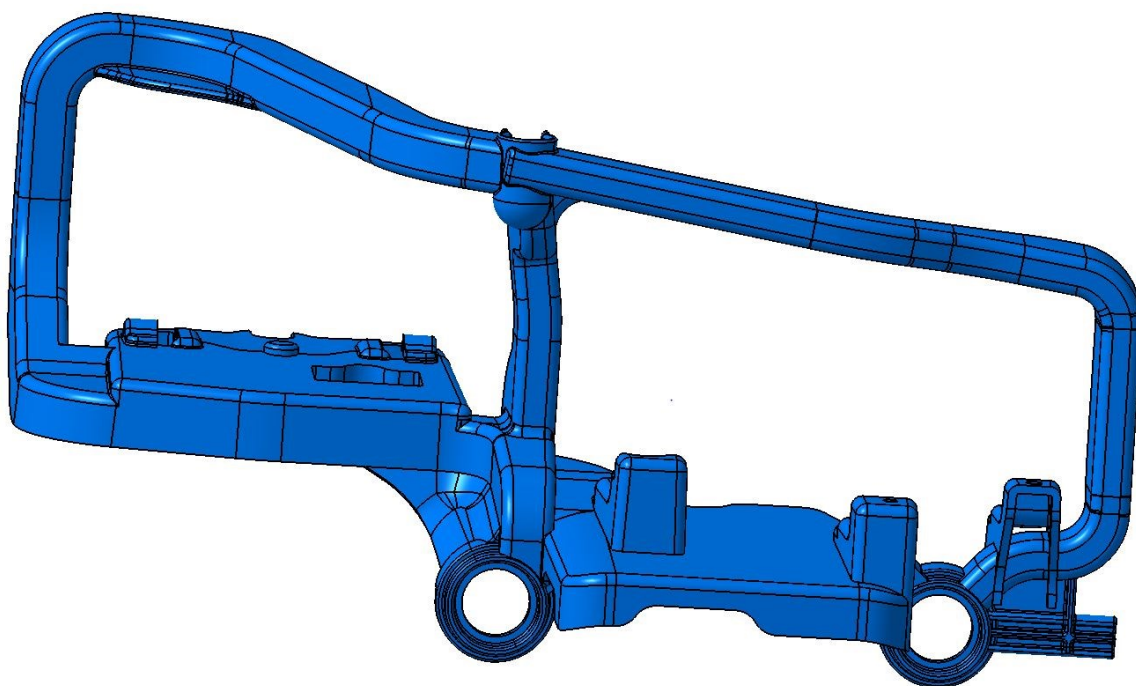
2 Stanovení výpočtů rámu a potřebných kritérií

Diplomová práce se věnuje převážně druhému typu výpočtů, to jsou výpočty mechanických vlastností nosného rámu světlometu, poté následuje návrh optimálního řešení nosného rámu. Nosný rám světlometu slouží k připevnění všech elektronických prvků, světelných modulů, potkávacího a dálkového osvětlení, různých chladičů a větracích zařízení. Nosný rám je pevně spojen s plastovým krytem tzv. Housing, který je se zadní stranou světlometu pevně připojen ke karoserii automobilu.

V současné době jsou nejvíce vyráběny světlometry s LED diodami produkující nežádoucí teplotu až 90 °C teplotu. Nosné rámy světlometů jsou vyráběny z plastů pro svou malou hmotnost, variabilitu tvaru a dobré mechanické vlastnosti. Zadavatel diplomové práce Varroc Lighting Systems s.r.o. požaduje změnit původní materiál A Zytel (PA6T/XT-GF35) za materiál B Impet 2700 GV1/45 (PET-GF45). Důvodem požadované změny je ekonomické hledisko, Impet 2700 GV1/45 lze pořídit za nižší cenu. I když má Impet 2700 GV1/45 při teplotách do 40 °C přibližně odolnější mechanické vlastnosti než Zytel (PA6T/XT-GF35), při zvyšujících se teplotách oproti Zytel (PA6T/XT-GF35) degraduje. Firma Varroc Lighting Systems s.r.o. požaduje výměnu materiálu nosného rámu Zytel (PA6T/XT-GF35), za podmínky zachování hmotnosti, tvaru a zamezení možné degradace při teplotách 90 °C. Na obrázku 10 je zobrazen kompletně osazený nosný rám s přimontovanými díly. Na obrázku 11 je původní design nosného rámu.



Obrázek 10 - Nosný rám osazen díly



Obrázek 11 – Samostatný původní nosný rám

2.1 Zadaná kritéria pro nosný rám

První kritérium je dosažení první nenulové vlastní frekvence na hodnotě 50 Hz. Při hodnotách první nenulové vlastní frekvence nižších než 50 Hz dochází k viditelnému chvění světelných paprsků na vozovce.

Druhým zadaným kritériem je dosažení co nejmenší možné hmotnosti nosného rámu při jeho dostačující tuhosti. Důvodem tohoto kritéria je úspora materiálu, tím i jeho finančních nákladů, které se odrazí v sériové výrobě. Dalším důvodem je plánovaná implementace směrnice Evropské unie do české legislativy, která posuzuje celkovou hmotnost automobilu k jeho emisím.

Třetím zadaným kritériem je výrobní jednoduchost nosného rámu. Navrhnout tvar formy tak, aby byl snadno vylisovatelný (minimum šoupátek, sliderů ve formě atd.).

Čtvrtým zadaným kritériem je dosažení co nejmenší celkové deformace nosného rámu. Eliminovat koncentrace napětí, odstranit ostré hrany a přechody.

3 Srovnání materiálových vlastností Zytel a Impet

V minulém století byly vyráběny světlomety z tradičních materiálů jako je sklo (přední krycí sklo), plech (plechové paraboly, plechové zadní kryty), zinek, hliník, popřípadě pozinkované nebo chromované povrchy nestálých kovů. Výhodou těchto materiálů byla jejich vyšší tuhost, ale nevýhodou byla hmotnost, životnost, nedostatečná plasticita, vysoká pořizovací cena a drahé nástroje pro jejich výrobu a úpravu. V současné době se světlomety z velké části vyrábějí z plastů.

Následně budou popsány detailně dva plasty, ze kterých lze vyrobit nosný rám světlometu a které byly zadány pro tuto diplomovou práci firmou Varroc Lighting Systems s.r.o., jedná se o Impet 2700 GV1/45 (PET-GF45) a Zytel (PA6T/XT-GF35). Vlastnosti Zytel jsou detailně uvedeny v tabulkách 1–3. Vlastnosti Impetu 2700 jsou detailně uvedeny v tabulkách 4–5.

DuPont™ Zytel® HTN

high performance polyamide resin

Zytel® HTN51G35HSL NC010

Zytel® HTN51G35HSL NC010 is a high performance, semicrystalline, heat stabilized, 35% glass fibre reinforced polyamide resin

Property	Test Method	Units	Value	
			DAM	50%RH
Mechanical				
Stress at Break	ISO 527-1/-2	MPa	220	210
Strain at Break	ISO 527-1/-2	%	2.4	2.1
Tensile Modulus	ISO 527-1/-2	MPa	12500	12500
Notched Izod Impact	ISO 180/1A	kJ/m ²		
-30°C			11	
23°C			11	11
Notched Charpy Impact	ISO 179/1eA	kJ/m ²		
-30°C			11	
23°C			12	11
Unnotched Charpy Impact	ISO 179/1eU	kJ/m ²		
-30°C			56	
23°C			65	55
Thermal				
Deflection Temperature	ISO 75-1/-2	°C		
0.45MPa			276	
1.80MPa			264	
Melting Temperature	ISO 11357-1/-3	°C		
10°C/min			300	

Contact DuPont for Material Safety Data Sheet, general guides and/or additional information about ventilation, handling, purging, drying, etc.

ISO Mechanical properties measured at 4.0mm, ISO Electrical properties measured at 2.0mm unless otherwise stated.

Test temperatures are 23°C unless otherwise stated.

During moulding, use proper protective equipment and adequate ventilation. Avoid exposure to fumes and limit the hold up time and temperature of the resin in the machine. Purge degraded resin carefully with HDPE.

The DuPont Oval Logo, DuPont™, The miracles of science™ and Zytel® are trademarks or registered trademarks of DuPont Company. Copyright© 2001.

020724/020807

The information provided in this data sheet corresponds to our knowledge on the subject at the date of its publication. This information may be subject to revision as new knowledge and experience becomes available. The data provided fall within the normal range of product properties and relate only to the specific material designated; these data may not be valid for such material used in combination with any other materials, additives or pigments or in any process, unless expressly indicated otherwise. The data provided should not be used to establish specification limits or used alone as the basis of design; they are not intended to substitute for any testing you may need to conduct to determine for yourself the suitability of a specific material for your particular purposes. Since DuPont cannot anticipate all variations in actual end-use conditions DuPont makes no warranties and assumes no liability in connection with any use of this information. Nothing in this publication is to be considered as a license to operate under or a recommendation to infringe any patent rights. DuPont advises you to seek independent counsel for a freedom to practice opinion on the intended application or end-use of our products. Caution: Do not use this product in medical applications involving permanent implantation in the human body. For other medical applications see "DuPont Medical Caution Statement", H-50102.

plastics.dupont.com



The miracles of science™

Tabulka 1 - Zytel – materiálové vlastnosti strana 1 [13]

Zytel® HTN51G35HSL NC010

Property	Test Method	Units	Value		
			DAM	50%RH	
Thermal					
CLTE, Normal	ASTME 831	E-4/C		0.18	
-40 - 23°C (-40 - 73°F)			0.47		
23 - 55°C (73 - 130°F)			0.49		
55 - 125°C (131 - 257°F)		0.52			
CLTE, Parallel	ASTME 831	E-4/C			
-40 - 23°C (-40 - 73°F)			0.18		
23 - 55°C (73 - 130°F)			0.15		
55 - 125°C (131 - 257°F)			0.15		
Electrical					
Surface Resistivity	IEC 60093	ohm	1 E14	1 E13	
Relative Permittivity	IEC 60250				
1E6 Hz			4		
Volume Resistivity	IEC 60093	ohm m	>1E 13		
Dissipation Factor	IEC 60250	E-4			
1E6 Hz			120		
Electric Strength	IEC 60243-1	kV/mm			
1.0mm			36		
CTI	IEC 60112	V			
1.0mm			600		
Flammability					
Flammability Classification	UL94			23	
0.85mm			HB		
1.5mm			HB		
3.0mm			HB		
Oxygen Index	ISO 4589-1/-2	%	23		
Other					
Density	ISO 1183	kg/m ³	1470		
Moulding Shrinkage	ISO 294-4	%			
Normal			0.9		
Parallel			0.2		

Contact DuPont for Material Safety Data Sheet, general guides and/or additional information about ventilation, handling, purging, drying, etc.

ISO Mechanical properties measured at 4.0mm, ISO Electrical properties measured at 2.0mm unless otherwise stated.

Test temperatures are 23°C unless otherwise stated.

The DuPont Oval Logo, DuPont™, The miracles of science™ and Zytel® are trademarks or registered trademarks of DuPont Company. Copyright© 2001.

020724/020807

The information provided in this data sheet corresponds to our knowledge on the subject at the date of its publication. This information may be subject to revision as new knowledge and experience becomes available. The data provided fall within the normal range of product properties and relate only to the specific material designated; these data may not be valid for such material used in combination with any other materials, additives or pigments or in any process, unless expressly indicated otherwise. The data provided should not be used to establish specification limits or used alone as the basis of design; they are not intended to substitute for any testing you may need to conduct to determine for yourself the suitability of a specific material for your particular purposes. Since DuPont cannot anticipate all variations in actual end-use conditions DuPont makes no warranties and assumes no liability in connection with any use of this information. Nothing in this publication is to be considered as a license to operate under or a recommendation to infringe any patent rights. DuPont advises you to seek independent counsel for a freedom to practice opinion on the intended application or end-use of our products. Caution: Do not use this product in medical applications involving permanent implantation in the human body. For other medical applications see "DuPont Medical Caution Statement", H-50102.

plastics.dupont.com



The miracles of science™

Tabulka 2 - Zytel – materiálové vlastnosti strana 2 [13]

Product Information

Zytel® HTN51G35HSL NC010

Property	Test Method	Units	Value	
			DAM	50%RH
Processing				
Melt Temperature Range		°C	320-330	
Melt Temperature Optimum		°C	325	
Mould Temperature Range		°C	140-160	
Mould Temperature Optimum		°C	150	
Drying Time, Dehumidified Dryer		h	6-8	
Drying Temperature		°C	100	
Processing Moisture Content		%	<0.10	

Contact DuPont for Material Safety Data Sheet, general guides and/or additional information about ventilation, handling, purging, drying, etc.
 ISO Mechanical properties measured at 4.0mm, ISO Electrical properties measured at 2.0mm unless otherwise stated.
 Test temperatures are 23°C unless otherwise stated.

The DuPont Oval Logo, DuPont™, The miracles of science™ and Zytel® are trademarks or registered trademarks of DuPont Company. Copyright© 2001.

020724/020807

The information provided in this data sheet corresponds to our knowledge on the subject at the date of its publication. This information may be subject to revision as new knowledge and experience becomes available. The data provided fall within the normal range of product properties and relate only to the specific material designated; these data may not be valid for such material used in combination with any other materials, additives or pigments or in any process, unless expressly indicated otherwise. The data provided should not be used to establish specification limits or used alone as the basis of design; they are not intended to substitute for any testing you may need to conduct to determine for yourself the suitability of a specific material for your particular purposes. Since DuPont cannot anticipate all variations in actual end-use conditions DuPont makes no warranties and assumes no liability in connection with any use of this information. Nothing in this publication is to be considered as a license to operate under or a recommendation to infringe any patent rights. DuPont advises you to seek independent counsel for a freedom to practice opinion on the intended application or end-use of our products. Caution: Do not use this product in medical applications involving permanent implantation in the human body. For other medical applications see "DuPont Medical Caution Statement", H-50102.

plastics.dupont.com



The miracles of science™

Tabulka 3 - Zytel – materiálové vlastnosti strana 3 [13]

IMPET® 2700 GV1/45 (Europe) | PET | Glass Reinforced

Description

Polyethylene terephthalate, 45 % glass filled, high flowability, excellent gloss, high modulus, very high heat deflection temperature.

Physical properties	Value	Unit	Test Standard
Density	1740	kg/m ³	ISO 1183
Mold shrinkage - parallel	.2	%	ISO 294-4
Mold shrinkage - normal	.6	%	ISO 294-4
Humidity absorption (23°C/50%RH)	0.15	%	ISO 62
Mechanical properties	Value	Unit	Test Standard
Tensile modulus (1mm/min)	17000	MPa	ISO 527-2/1A
Tensile stress at break (5mm/min)	185	MPa	ISO 527-2/1A
Tensile strain at break (5mm/min)	1.5	%	ISO 527-2/1A
Flexural modulus (23°C)	17000	MPa	ISO 178
Flexural strength (23°C)	240	MPa	ISO 178
Charpy impact strength @ 23°C	35.0	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy impact strength @ -30°C	31.0	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy notched impact strength @ 23°C	12.0	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpy notched impact strength @ -30°C	13.0	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Notched impact strength (Izod) @ 23°C	13.0	kJ/m ²	ISO 180/1A
Rockwell hardness	121	M-Scale	ISO 2039-2
Thermal properties	Value	Unit	Test Standard
Melting temperature (10°C/min)	248	°C	ISO 11357-1,-2,-3
DTUL @ 1.8 MPa	228	°C	ISO 75-1/-2
DTUL @ 0.45 MPa	252	°C	ISO 75-1/-2
DTUL @ 8.0 MPa	170	°C	ISO 75-1/-2
Vicat softening temperature B50 (50°C/h 50N)	260	°C	ISO 308
Coeff.of linear therm. expansion (parallel)	0.15	E-4/°C	ISO 11359-2
Coeff.of linear therm. expansion (normal)	1	E-4/°C	ISO 11359-2
Limiting oxygen index (LOI)	26.0	%	ISO 4589
Flammability @ 1.6mm nom. thickn.	HB	class	UL94
thickness tested (1.6)	1.6	mm	UL94
Flammability at thickness h	HB	class	UL94
thickness tested (h)	0.8	mm	UL94
Electrical properties	Value	Unit	Test Standard
Relative permittivity - 100 Hz	5.2	-	IEC 60250
Relative permittivity - 1 MHz	4.5	-	IEC 60250
Dissipation factor - 100 Hz	30	E-4	IEC 60250
Dissipation factor - 1 MHz	165	E-4	IEC 60250
Volume resistivity	1E14	Ohm*m	IEC 60093
Surface resistivity	>1E14	Ohm	IEC 60093
Electric strength	35	kV/mm	IEC 60243-1
Comparative tracking index CTI	175	-	IEC 60112

Tabulka 4 - Impet 2700 GV1/45 - materiálové vlastnosti strana 1 [14]

IMPET® 2700 GV1/45 (Europe) | PET | Glass Reinforced

Temperature:

	°Manifold	°Mold	°Melt	°Nozzle	°Zone4	°Zone3	°Zone2	°Zone1	°Feed	°Hopper
min (°C)	270	135	270	270	280	280	270	280	40	20
max (°C)	290	145	290	290	290	290	280	270	60	50

Speed:
Injection speed: fast
Screw speed

Screw diameter (mm)	16	25	40	55	75
Screw speed (RPM)	-	80	65	50	-

Injection Molding

Melt Temperature	270-290	°C
Mold Temperature	135-145	°C
Maximum Barrel Residence Time *)	5-10	min
Injection Speed	fast	
Peripheral screw speed	max. 0,3	m/sec
Back Pressure	10-20	bar
Injection Pressure	600-900	bar
Holding Pressure	300-500	bar
Nozzle Design	open design preferred	

Injection speed, injection pressure and holding pressure have to be optimized to the individual article geometry. To avoid material degradation during processing low back pressure and minimum screw speed have to be used. Overheating of the material has to be avoided.

Ticona recommends only externally heated hot runner systems.

*) If the cylinder temperatures are higher than the recommended maximum temperatures, the max. residence time in the barrel has to be reduced.

Contact Information

Americas

8040 Dixie Highway, Florence, KY 41042 USA

Product Information Service

t: +1-800-833-4882 t: +1-859-372-3244

Customer Service

t: +1-800-526-4960 t: +1-859-372-3214

e: info-engineeredmaterials-am@celanese.com

Asia

4560 Jinke Road, Zhang Jiang Hi Tech Park

Shanghai 201203 PRC

Customer Service

t: +86 21 3861 9266 f: +86 21 3861 9599

e: info-engineeredmaterials-asia@celanese.com

Europa

Am Unisys-Park 1, 65843 Sulzbach, Germany

Product Information Service

t: +(00)-800-86427-531 t: +49-(0)-69-45009-1011

e: info-engineeredmaterials-eu@celanese.co

General Disclaimer

This publication was printed based on Celanese's present state of knowledge, and Celanese undertakes no obligation to update it. Because conditions of product use are outside Celanese's control, Celanese makes no warranties, express or implied, and assumes no liability in connection with any use of this information. Nothing herein is intended as a license to operate under or a recommendation to infringe any patents.

NOTICE TO USERS: Values shown are based on testing of laboratory test specimens and represent data that fall within the standard range of properties for natural material. These values alone do not represent a sufficient basis for any part design and are not intended for use in establishing maximum, minimum, or ranges of values for specification purposes. Colorants or other additives may cause significant variations in data values.

Tabulka 5 - Impet 2700 GV1/45 - materiálové vlastnosti strana 2 [14]

3.1 Impet 2700 GV1/45 (PET-GF45) versus Zytel (PA6T/XT-GF35)

Pro výrobu zadaného nosného rámu je Zytel dle jeho vlastností lepší volbou. Požadavkem zadavatele diplomové práce je výroba nosného rámu z materiálu Impet, který je oproti Zytel dvakrát levnější. Nosný rám, který by se měl vyrábět z Impet, se proto bude muset optimalizovat tak, aby dosáhl materiálových vlastností finančně nákladnějšího nosného rámu ze Zytel. V tabulce 6 jsou uvedeny výhody a nevýhody materiálu Impet oproti Zytel.

Impet 2700 GV1/45 (PET-GF45)

Výhody	Nevýhody
Nižší cena (oproti Zytel o 50 %).	Vyšší teplotní degradace (pokles modulu pružnosti o 6000 MPa z 20 °C na 90 °C, Zytel má 1/3 hodnoty při stejných podmínkách).
	Nízká povrchová tvrdost při 90 °C (propadnutí šroubů do materiálu až 1 mm).
	Větší teplotní roztažnost (v normálovém směru je dvojnásobná oproti Zytelu => při zvyšující se teplotě se zvyšuje deformace).
	Větší hustota (Impet – 1740 kg/m ³ / Zytel – 1470 kg/m ³) => větší hmotnost.
	Náročnější procesy zpracování (vyšší požadavky na lisovací stroje a zkušenost dodavatele).

Tabulka 6 - Výhody a nevýhody materiálu Impet

V tabulce 7 jsou červeně zvýrazněny důležité materiálové vlastnosti pro výpočty diplomové práce pro materiál Impet. Neméně důležitá materiálová vlastnost je Poissonova konstanta, která je pro oba materiály 0,35.

Physical properties	Value	Unit	Test Standard
Density	1740	kg/m ³	ISO 1183
Mold shrinkage - parallel	.2	%	ISO 294-4
Mold shrinkage - normal	.6	%	ISO 294-4
Humidity absorption (23°C/50%RH)	0.15	%	ISO 62

Mechanical properties	Value	Unit	Test Standard
Tensile modulus (1mm/min)	17000	MPa	ISO 527-2/1A
Tensile stress at break (5mm/min)	185	MPa	ISO 527-2/1A
Tensile strain at break (5mm/min)	1.5	%	ISO 527-2/1A
Flexural modulus (23°C)	17000	MPa	ISO 178
Flexural strength (23°C)	240	MPa	ISO 178
Charpy impact strength @ 23°C	35.0	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy impact strength @ -30°C	31.0	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy notched impact strength @ 23°C	12.0	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpy notched impact strength @ -30°C	13.0	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Notched impact strength (Izod) @ 23°C	13.0	kJ/m ²	ISO 180/1A
Rockwell hardness	121	M-Scale	ISO 2039-2

Thermal properties	Value	Unit	Test Standard
Melting temperature (10°C/min)	248	°C	ISO 11357-1,-2,-3
DTUL @ 1.8 MPa	228	°C	ISO 75-1/-2
DTUL @ 0.45 MPa	252	°C	ISO 75-1/-2
DTUL @ 8.0 MPa	170	°C	ISO 75-1/-2
Vicat softening temperature B50 (50°C/h 50N)	260	°C	ISO 306
Coeff. of linear therm. expansion (parallel)	0.15	E-4/°C	ISO 11359-2
Coeff. of linear therm. expansion (normal)	1	E-4/°C	ISO 11359-2
Limiting oxygen index (LOI)	26.0	%	ISO 4589
Flammability @ 1.6mm nom. thckn.	HB	class	UL94
thickness tested (1.6)	1.6	mm	UL94
Flammability at thickness h	HB	class	UL94
thickness tested (h)	0.8	mm	UL94

Tabulka 7 - Impet 2700 GV1/45 - zvýrazněné důležité materiálové vlastnosti [13]

V tabulce 8 jsou červeně zvýrazněny důležité materiálové vlastnosti pro výpočty diplomové práce pro materiál Zytel.

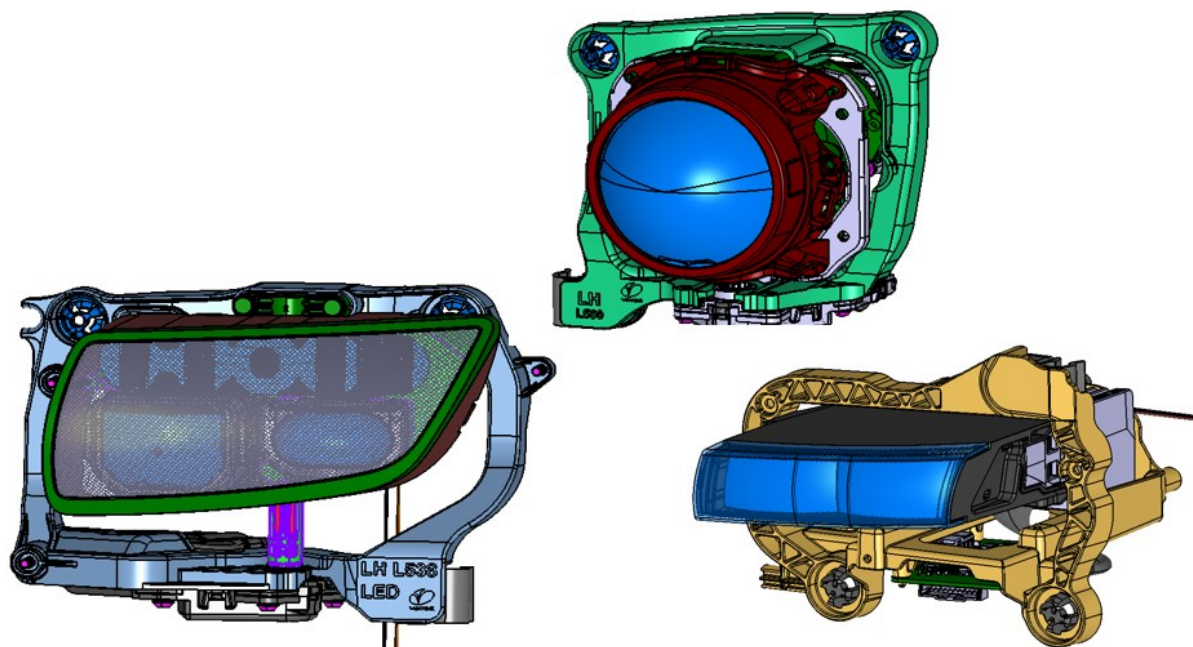
Property	Test Method	Units	Value	
			DAM	50%RH
Mechanical				
Stress at Break	ISO 527-1/-2	MPa	220	210
Strain at Break	ISO 527-1/-2	%	2.4	2.1
Tensile Modulus	ISO 527-1/-2	MPa	12500	12500

Property	Test Method	Units	Value	
			DAM	50%RH
Thermal				
CLTE, Normal	ASTM E 831	E-4/C		
-40 - 23°C (-40 - 73°F)			0.47	
23 - 55°C (73 - 130°F)			0.49	
55 - 125°C (131 - 257°F)			0.52	
CLTE, Parallel	ASTM E 831	E-4/C		
-40 - 23°C (-40 - 73°F)			0.18	
23 - 55°C (73 - 130°F)			0.15	0.18
55 - 125°C (131 - 257°F)			0.15	

Density	ISO 1183	kg/m ³	1470
---------	----------	-------------------	------

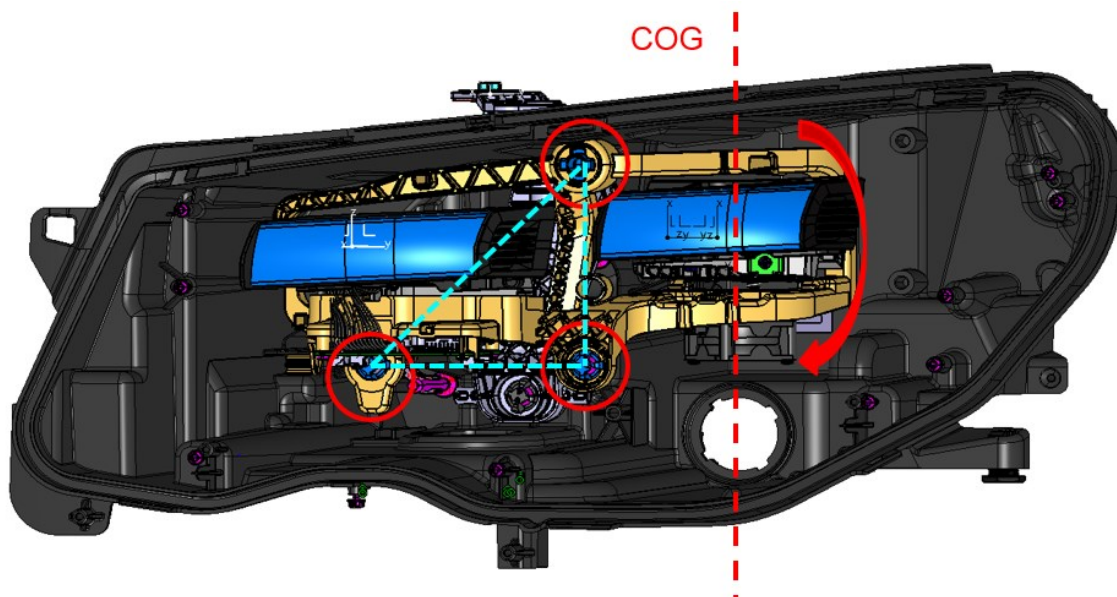
Tabulka 8 - Zytel – zvýrazněné důležité materiálové vlastnosti [14]

Doposud byl materiál Impet využíván na výrobu uzavřených dílů do rozměrů 120x120x120 [mm], holderů, malých nosných rámu, rovnoměrně zatěžovaných dílů, konstrukčně robustnějších dílů a teplotou méně ovlivnitelných dílů, které jsou zobrazeny na obrázku 12.

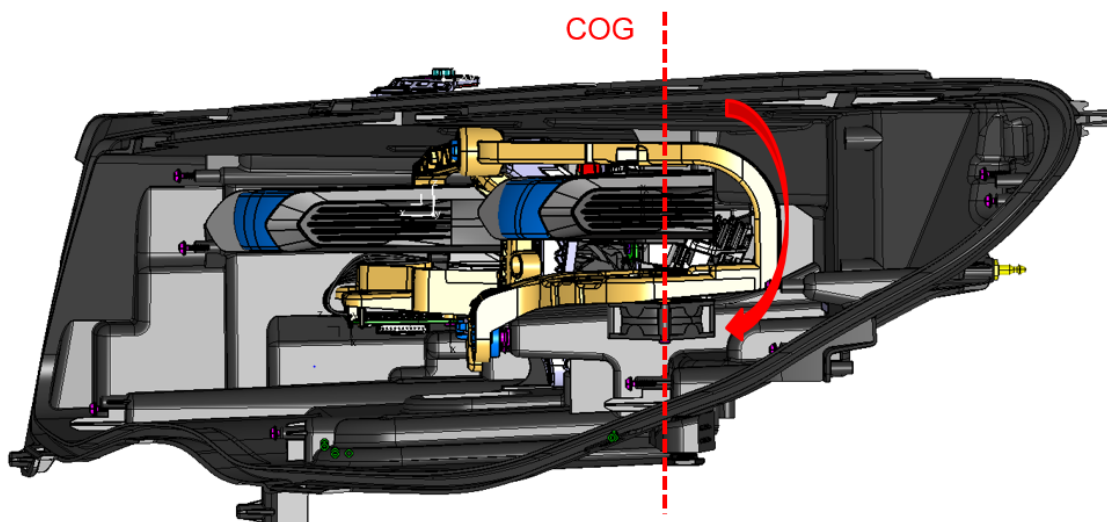


Obrázek 12 - vhodné díly pro materiál Impet 2700 GV1/45

Na obrázku 13 a 14 je zobrazena degradace při teplotě 90 °C, která může nastat v případě zadaného nosného rámu z materiálu Impet o velikosti 250x200x150 [mm]. Teplotní degradace je znázorněna červenými šipkami, kde dochází vlivem teploty a zatížení vlastní hmotnosti 0,25 kg modulu Low Beam k ohybu volné části rámu. Na Obrázku 13 jsou z čelního pohledu znázorněny úchytné body rámu s Housing třemi červenými kruhy, které jsou spojeny pomyslným trojúhelníkem, který tvoří stabilní část rámu, kde nedochází k degradaci. Obrázek 14 je z bočního pohledu.



Obrázek 13 - Možná degradace nosného rámu (čelní pohled)



Obrázek 14 - Možná degradace nosného rámu (boční pohled)

I když by bylo dobrým řešením nosný rám vyrobít z materiálu jako je Zytel nebo Aluminium (hliník), zadání je jednoznačné, z ekonomického hlediska musí být optimalizována konstrukce nosného rámu z materiálu Impet.

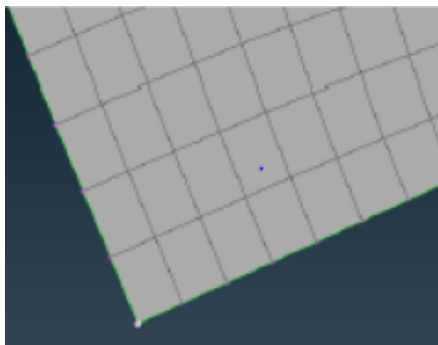
Při volbě materiálu Impet pro výrobu nosného rámu jsou zadavatelem doporučeny: přesné specifikované lisovací podmínky, správná koncepce dílu, která vychází z uzavřených profilů menších rozměrů, při výběru dodavatele materiálu přihlížet k jeho dosavadním zkušenostem. Materiál Impet pro výrobu nosného rámu nevyužít, v případě rizika ovlivnění optiky světlometu.

4 Tvorba sítě

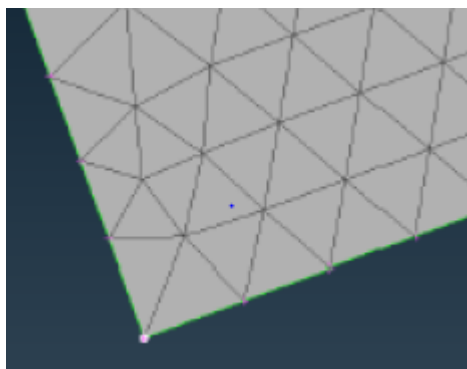
V této části diplomové práce je popsána tvorba konečnoprvkové sítě. Prvotně je nutný výběr tvaru a rozměru elementu a jeho možného tvaru za daných podmínek. Přesné výsledky jsou kompromisem mezi kvalitně vytvořenou sítí a výkonem přístroje, na kterém je výpočet realizován.

Jelikož nejsou dána pravidla pro ideální velikost a typ elementu, je důležitá zkušenost a intuitivní myšlení výpočtáře. SW ANSA vytváří síť ve dvou krocích, v prvním vytvoří povrchovou síť, která kopíruje povrch tělesa. Povrchová síť musí být tvořena precizně, protože se na ní nachází nejvíce zatěžovaná místa. Zvolí se kvalitativní kritéria povrchové sítě. Výhodou povrchové sítě je její snadné přetváření. V druhém kroku se z povrchové sítě generuje objemová síť.

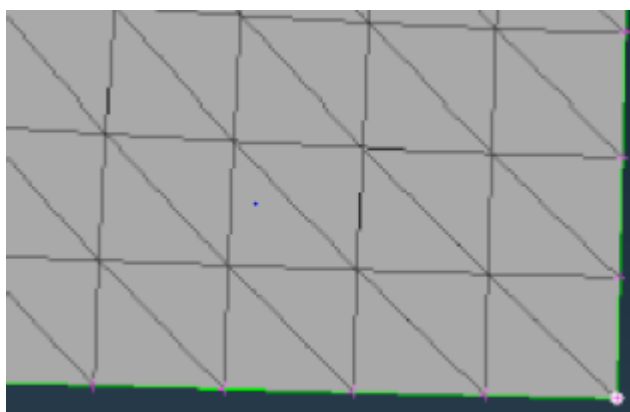
Při tvorbě konečnoprvkové sítě se nejprve zvolí typ elementu. V SW ANSA je možno zvolit mnoho odlišných tvarů podle počtu stran elementů např.: trojúhelníky, čtyřúhelníky a mnohoúhelníky. Z pohledu matematického modelování je pro kvalitní síť dobré používat tzv. mapovou síť, která je složena z elementů jednoho typu, pak je dosaženo přesnějších výsledků, ale vytvoření takové sítě trvá déle. Na obrázku 15 až 17 jsou znázorněné mapové sítě.



Obrázek 15 - Mapovaná síť tvořena obdélníkovými elementy [15]

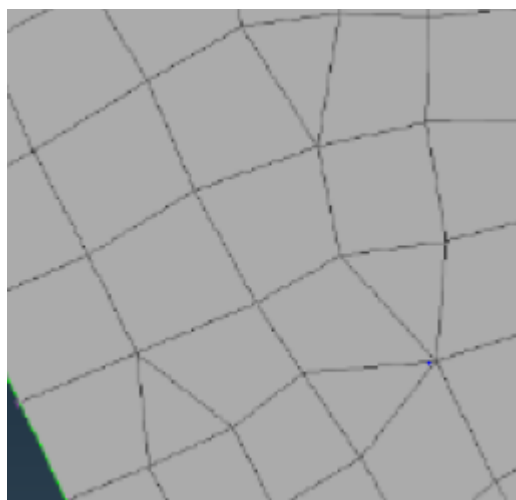


Obrázek 16 - Mapovaná síť tvořena trojúhelníkovými elementy [15]



Obrázek 17 - Mapovaná síť tvořena speciálními elementy [15]

Tvorba sítě může být řešena kombinací různých tvarů elementů, která je méně časově náročná a slouží pro předběžné výpočty. Tato síť je méně přesná. Na obrázku 18 je síť tvořena různými elementy.

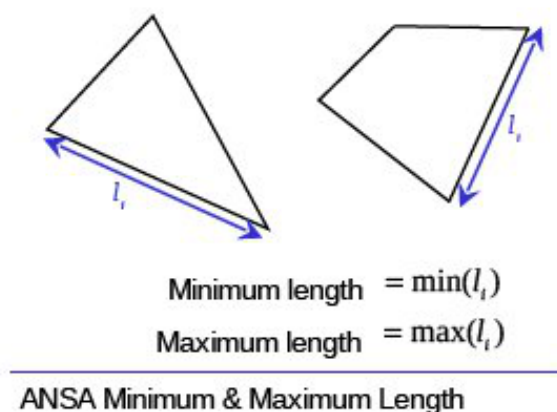


Obrázek 18 - Síť tvořena různými elementy [15]

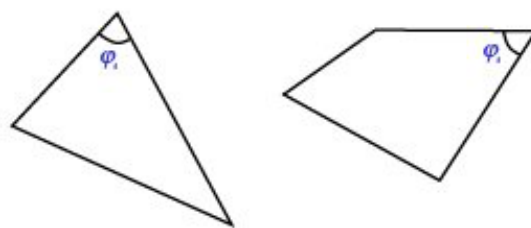
Důležitou podmínkou pro vznik konečnoprvkové sítě je počet uzlů v každém elementu, které zvyšují přesnost výsledků. Základní typy elementů mají pouze uzly ve svých vrcholech. Pro získání přesnějších výsledků lze použít složitější typy elementů s meziuzly, které mají své uzly jak ve vrcholech, tak mezi uzly na svých hranách. Z uzlů a meziuzlů jsou předávány počáteční informace pro výpočet. Aplikací složitějších elementů je dosahováno přesnějších výsledků, ale prodlužuje se výpočetní čas a zvětšuje se konečná kapacita souboru, a proto musí být koncepce zadání promyšlena.

Pro vytvoření kvalitní sítě je potřeba splnit několik podmínek. SW ANSA má propracovaný systém tvorby sítě postupně od povrchové sítě po objemovou síť. V tomto postupu probíhá kontrola tvorby sítě dvakrát, zvlášť pro zadávané podmínky povrchové sítě a zvlášť pro zadávané podmínky objemové sítě. Z toho vyplývá, že je několik možností úprav na síti. Velikost a tvar analyzovaného dílu ovlivňuje náročnost tvorby sítě.

Při zadávání povrchové sítě jsou určeny tyto základní parametry: Maximální a minimální hodnoty délkových a úhlových rozměrů elementu, ve kterých se element pohybuje, znázorněno na obrázku 19 a 20. Dalším zadaným parametrem je poměr délek hran elementu, zobrazeno na obrázku 21. Síť z elementů s meziuzly bývá zadávána odchylka a zarovnávání meziuzlů, zobrazeno na obrázku 22 a 23. Poslední kritérium je Jacobian zabývající se množstvím integračních bodů.



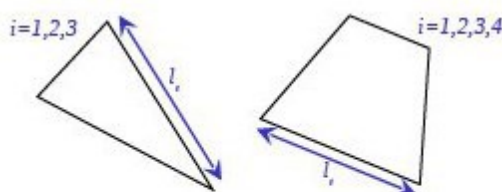
Obrázek 19 - Kritérium délkových rozměrů u plošných elementů [15]



$$\text{Angle} = F_{\min} < \varphi_i < F_{\max}$$

I-DEAS Angle (1st order only)

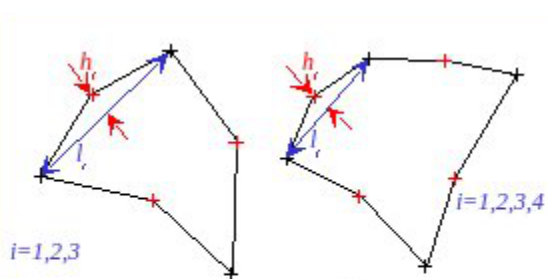
Obrázek 20 - Kritérium úhlových rozměrů u plošných elementů [15]



$$\text{Aspect ratio} = \frac{\max(l_i)}{\min(l_i)}$$

I-DEAS and ABAQUS Aspect Ratio

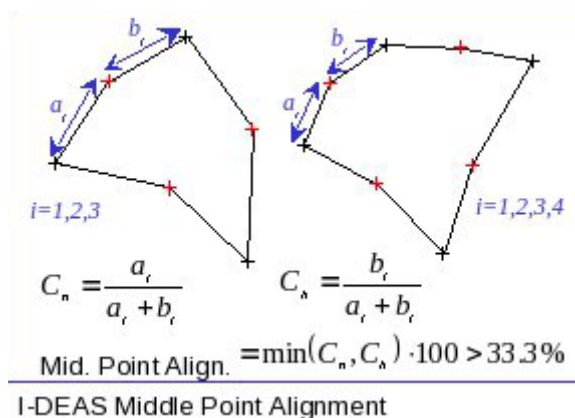
Obrázek 21 - Kritérium poměrů délkových rozměrů plošných elementů [15]



$$\text{Mid. Point Deviation} = \max\left(\frac{h_i}{l_i}\right) \cdot 100 < 33.3\%$$

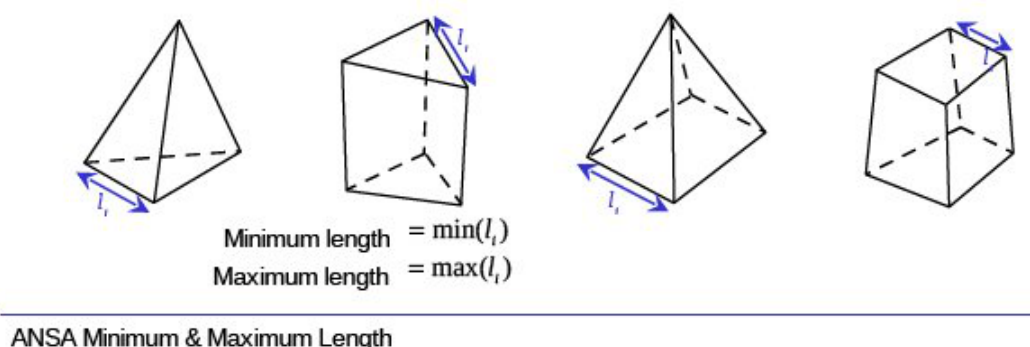
I-DEAS Middle Point Deviation

Obrázek 22 - Kritérium odchylky meziuzlu u plošných elementů [15]

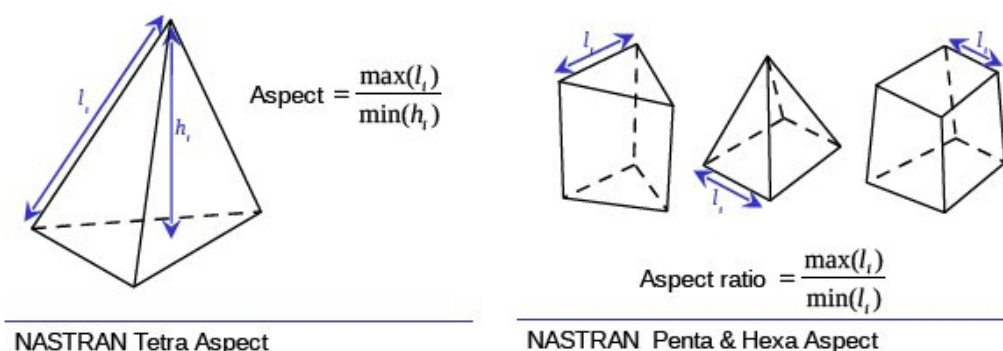


Obrázek 23 - Kritérium zarovnání meziuzlu u plošných elementů [15]

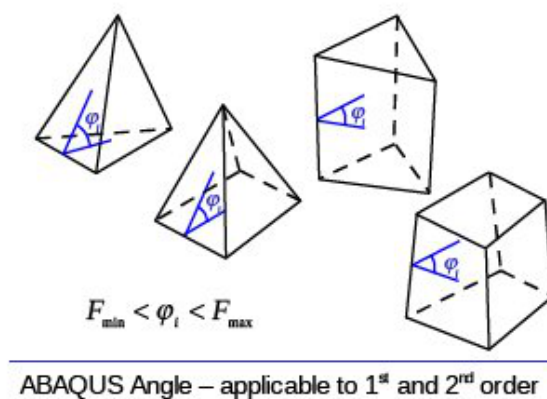
Tvorba objemové sítě je obdobná povrchové síti. Zadávané parametry jsou minimální a maximální rozměry délky hran a úhlových rozměrů elementů, které jsou zobrazeny na obrázku 24 a 26. Poté jsou zadávány poměry délek hran elementu, viz obrázek 25, odchylky a zarovnávání meziuzlů, viz obrázek 27 a 28. Oproti povrchové síti se zadává i tvarový faktor (šířmost elementů), viz obrázek 29. Posledním nastaveným parametrem je funkce, která kontroluje vznik nežádoucích objemů, které se vytvořily při tvorbě sítě.



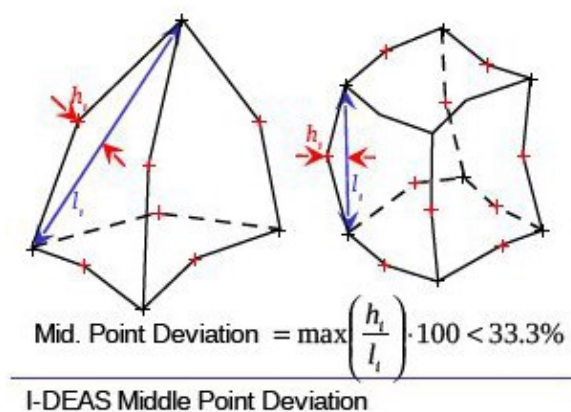
Obrázek 24 - Kritérium délkových rozměrů u objemových elementů [15]



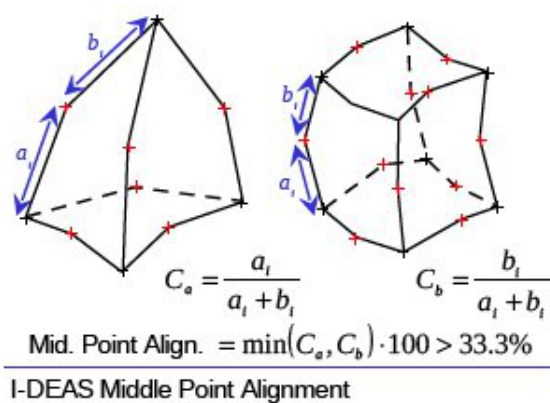
Obrázek 25 - Kritérium poměrů délkových rozměrů objemových elementů [15]



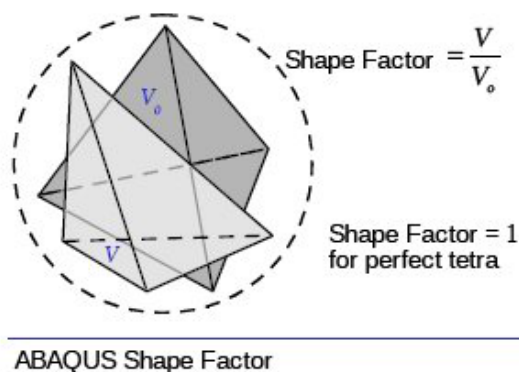
Obrázek 26 - Kritérium úhlových rozměrů u objemových elementů [15]



Obrázek 27 - Kritérium odchylky meziuzlu u objemových elementů [15]



Obrázek 28 - Kritérium zarovnání meziuzlu u objemových elementů [15]

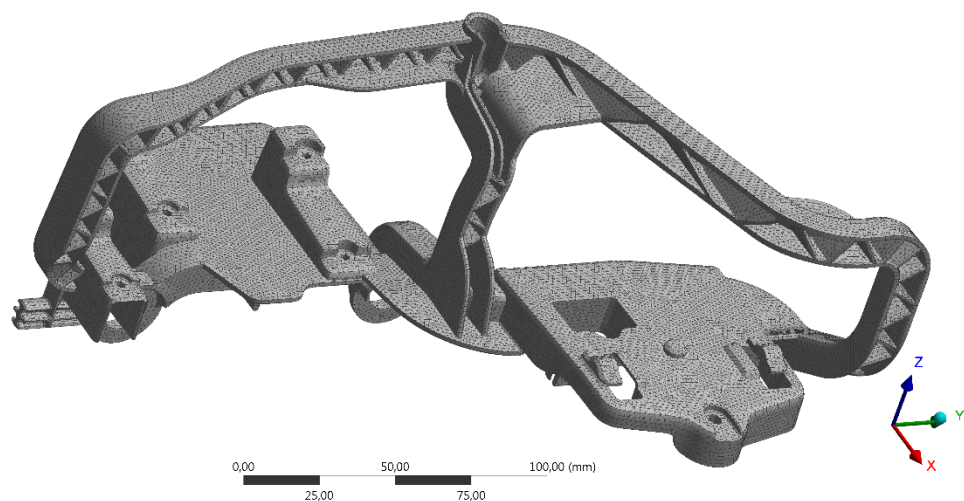


Obrázek 29 - Kritérium šikmosti objemových elementů [15]

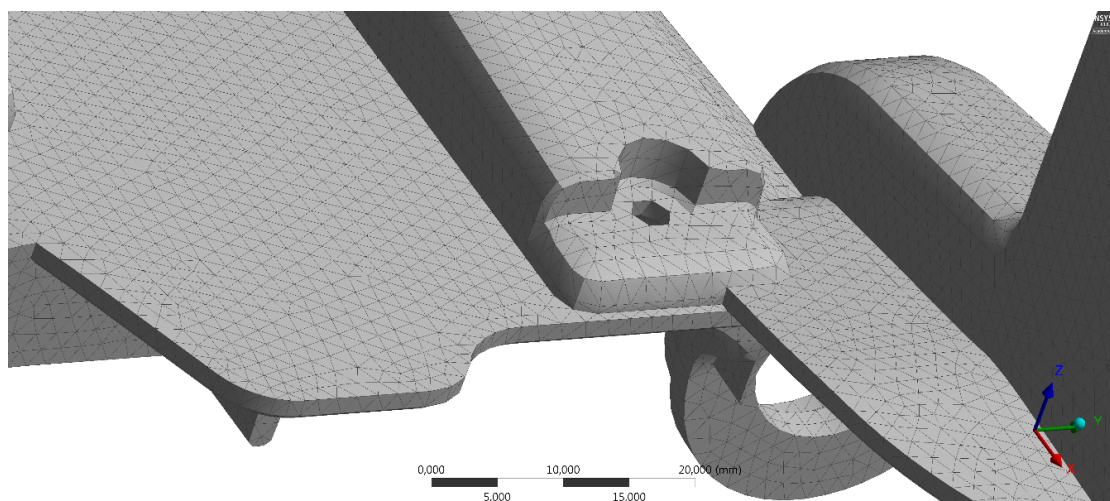
4.1 Tvorba sítě nosného rámu

Při diplomové práci je použit konstruktérský SW Catia, ve kterém je vytvořen model nosného rámu, který ale nekonvertoval s výpočtářským SW Workbench. Pro přenos modelu nosného rámu je využit originální soubor Catia, dále i univerzální soubory STEP a IGES, které také nekonvertují. Problém je řešen využitím firemního výpočtářského SW ANSA, který je využíván právě v automobilovém průmyslu. V SW ANSA je vytvořena pouze konečnoprvková síť a další výpočtářské úpravy a konečné výpočty jsou prováděny SW Workbench. Vytvořená síť je převedena z SW ANSA do SW Workbench přes soubor. CDB.

Konečnoprvková síť je vytvořena tetraedry s meziuzly. Tato síť je zvolena pro lepší pokrytí geometrie, pro lepší poskytnutí přesných výsledků a s přihlédnutím ke složitosti nosného rámu, který je složitě zakřivený a zaoblený. Střední velikost sítě je určena na 2 mm. Jsou zadány parametry: poměr délek v povrchové síti na hodnotu 5, minimální a maximální délka elementu 1–3 mm, u objemové sítě je nastavení poměru délek stran na velikost 10, minimální a maximální úhel 20°- 120°. Hodnota Jacobiána je nastavena na 0,7.



Obrázek 30 - Ukázka sítě

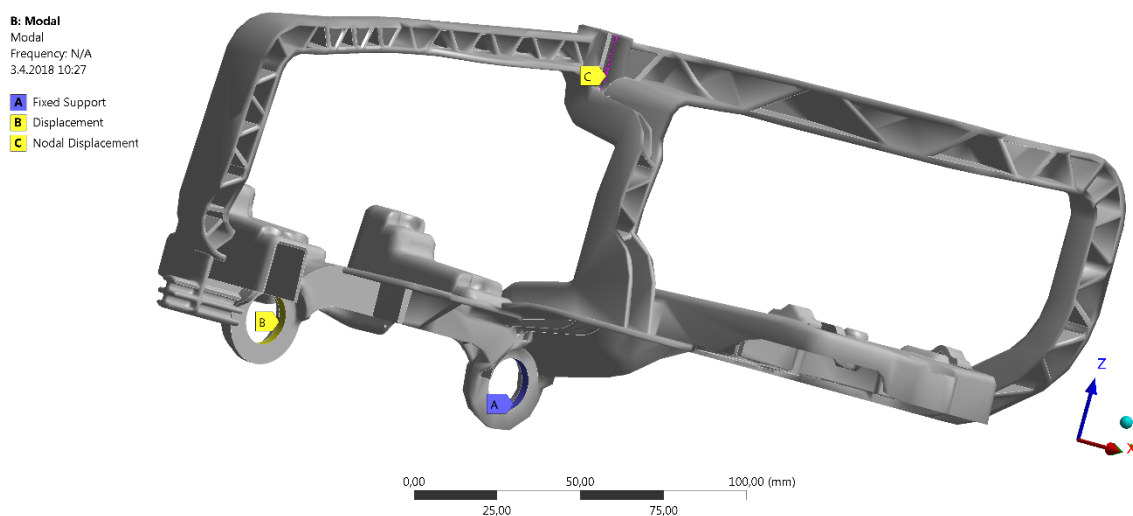


Obrázek 31 - detail sítě

4.2 Okrajové podmínky

Pro jakýkoliv výpočet je volba okrajové podmínky důležitá, protože při jejich správné interpretaci je dosaženo reálných vazeb a zatížení. Okrajové podmínky jsou nastaveny v SW Workbench. Na nosný rám byly použity okrajové podmínky jako jsou vetknutí, zamezení posuvu určitých os, působení teploty, hmotných bodů, které simulují hmotnost reálných součástí připevněných k nosnému rámu a v neposlední řadě zavedení gravitačního zrychlení na nosný rám.

Na obrázku 32 jsou barevně znázorněny okrajové podmínky zamezující posuvy. Okrajová podmínka „A“ je vetknutí zamezující posuvu ve všech osách. Okrajová podmínka „B“ zamezuje posuvy v osách x a z. Okrajová podmínka „C“ zamezuje posuvy v ose x.



Obrázek 32 - Okrajové podmínky – zamezení posuvu

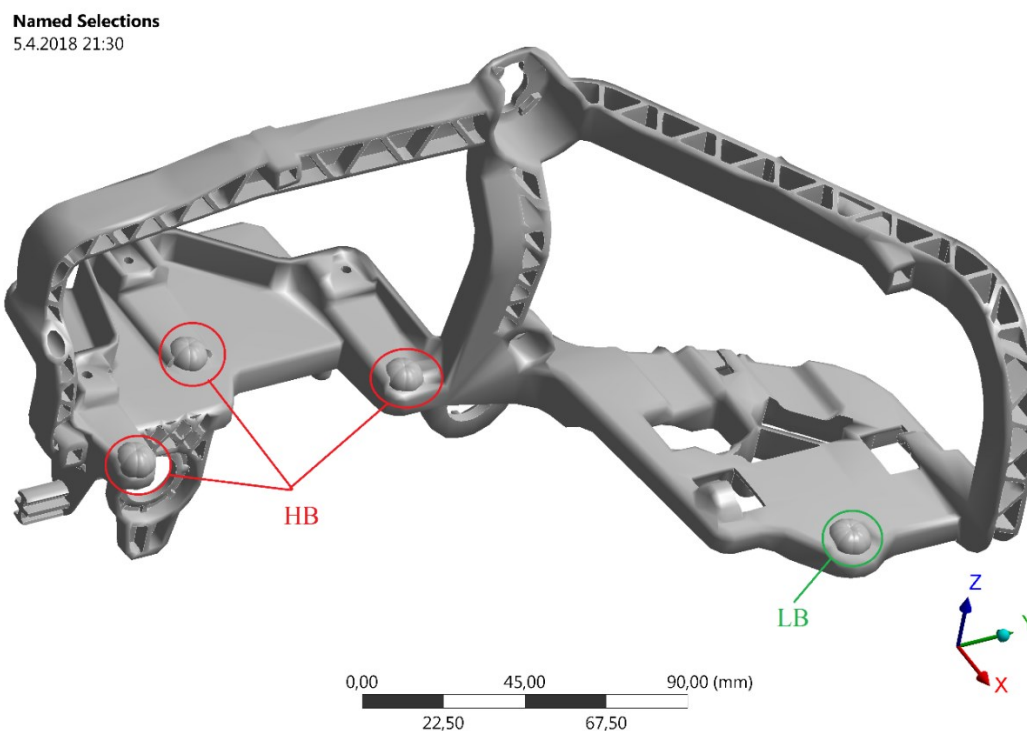
Na obrázku 33 je znázorněna okrajová podmínka při teplotě 90 °C, která vzniká ve světlometu od zdroje světla, kterým je LED. Se změnou teploty se změní modul pružnosti.



Obrázek 33 - Okrajová podmínka – při teplotě 90 °C

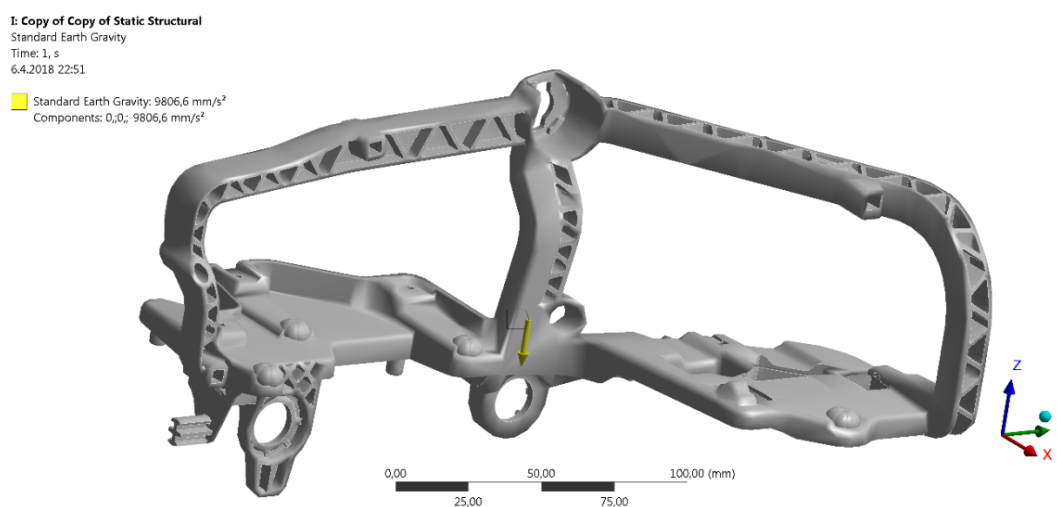
Na obrázku 34 jsou znázorněny vytvořené hmotné body, které udávají reálné zatížení nosného rámu. Zatížení nosného rámu vzniká působením vlastní hmotností modulů, modulu dálkových světel (High Beam) a potkávacích světel (Low Beam). Modul Hight Beam má hmotnost 0,44 kg a modul Low Beam má hmotnost 0,24 kg. Okrajová podmínka je provedena vytvořením hmotných bodů na uzlech, což způsobilo problém, neboť nelze

zadat hmotný bod pro více uzlů. Proto je navrženo jiné řešení, kdy celková hmotnost je vydělena počtem uzlů a ke každému z nich pak je přidána stejná hodnota, která je výsledkem podílu celkové hmotnosti a počtu uzlů. Na obrázku 34 je vyznačeno umístění Hight Beam červeně a Low Beam zeleně.



Obrázek 34 - Zatížení nosného rámu

Na obrázku 35 je poslední zavedená okrajová podmínka, která znázorňuje gravitační zrychlení, které je standartní $9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.



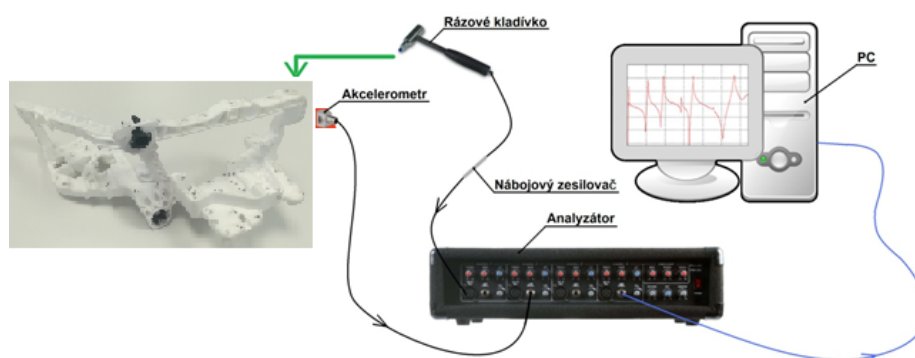
Obrázek 35 - Okrajová podmínka – gravitační zrychlení

5 Experiment modální analýzy

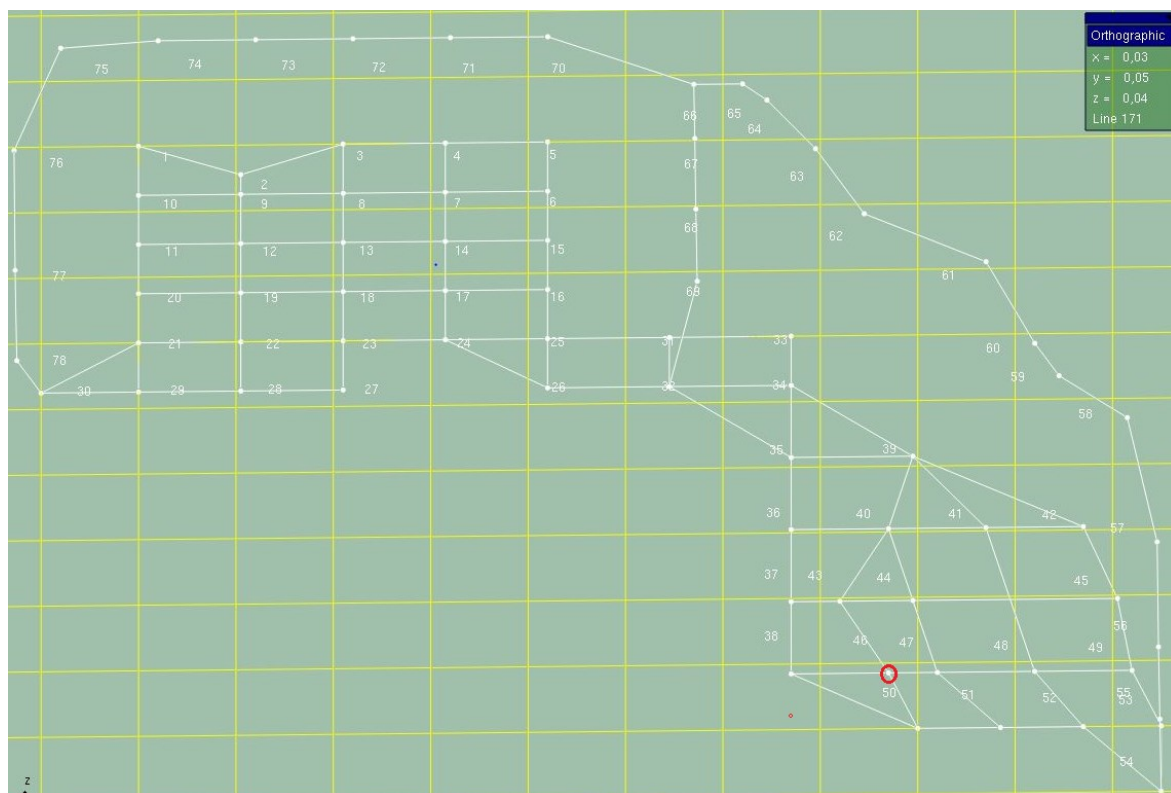
Tato kapitola srovnává experiment modální analýzy s konečnoprvkovým výpočtem v SW Workbench. Fyzický model nosného rámu, na kterém je prováděn experiment modální analýzy, je vyrobeným prototypem v 3D tiskárně. Prototyp není vyroben ze zadaných materiálů, ale z Polyamidu 2200, a proto i konečnoprvkový výpočet je realizován pro tento materiál. Výsledky modální analýzy pro Polyamid 2200 je možné převést verifikací na zadané materiály. Jsou porovnávány nenulové vlastní frekvence a vlastní tvary.

5.1 Popis experimentu modální analýzy

Experiment je realizován v univerzitní laboratoři. Pro správné provedení experimentálního měření modálních parametrů, je zapotřebí, aby byla měřená součást uložena volně, což je zajištěno molitanovou podložkou, na kterou bude nosný rám světloometu při měření položen. Dále je zapotřebí vytvořit referenční bod a síť s body, do kterých se bude při experimentu ťukat rázovým kladívkem. V referenčním bodu je umístěn tříosý akcelerometr, který bude uchycen pomocí včelího vosku. Referenční bod se nachází v bodě 46, viz obrázek 37 a 38. Uzly na součásti je důležité očíslovat stejně jako na geometrickém modelu, který vytvoříme v zjednodušené formě v modeláři SW PULSE LabShop. Akcelerometr je zvolen takový, aby svou hmotností, neovlivňoval modální parametry měřené součásti. Na obrázku 36 je zobrazeno zapojení přístrojů.



Obrázek 36 - Schéma zapojení při měření



Obrázek 37 - vytvořené body v programu PULSE LabShop



Obrázek 38 - Fyzický model s vyznačenými body

5.2 Použitá měřicí aparatura a software

Použitá měřicí aparatura:

Trojosý akcelerometr – Typ 4524B	- výrobní číslo 35215
Rázové kladívko - Typ 8203	- výrobní číslo 2047433
Nábojový předzesilovač – Typ 2647A	- výrobní číslo 2421049
Analyzátor – Typ 3109, 7533 Bruel and Kjaer 4/2	

Použitý SW:

Software pro měření – PULSE LabShop
Software pro modální analýzu – STAR Struct

5.3 Materiál prototypu

Materiálem prototypu je Polyamid 2200, který se převážně používá pro 3D tisk. Materiálová data prototypu jsou uvedena v tabulkách 9 a 10. Poissonova konstanta je 0,35.

Material data sheet

PA 2200

1 General

Typical applications of the material are fully functional parts with high end finish right from the process, which easily withstand high mechanical and thermal load.

PA 2200 is suitable for processing on the following systems:

- EOSINT P 730, P 700
- EOSINT P 390, P 385, P 380i, P 380, with or without powder conveying system
EOSINT P 360 with upgrade S&P, P 350/2 with upgrade 99 and upgrade S&P
- FORMIGA P 100

2 Technical data

General material properties

Average grain size	ISO 13320-11	56	µm
	Laser diffraction	2.20	mil
Bulk density	EN ISO 60	0.45	g/cm ³
Density of laser-sintered part	EOS method	0.93	g/cm ³
		58	lb/ft ³

Mechanical properties

Tensile modulus	EN ISO 527	1700	MPa
	ASTM D638	247	ksi
Tensile strength	EN ISO 527	48	MPa
	ASTM D638	6962	psi

Material data sheet

Elongation at break	EN ISO 527	24	%
Elongation at break	ASTM D638	24	%
Flexural modulus	EN ISO 178	1500	MPa
	ASTM D790	217	ksi
Flexural strength	EN ISO 178	58	MPa
	ASTM D790	8412	psi
Charpy - Impact strength	EN ISO 179	53	kJ/m ²
Charpy - Notched impact strength	EN ISO 179	4.8	kJ/m ²
Izod - Impact strength	EN ISO 180	32.8	kJ/m ²
Izod - Notched impact strength	EN ISO 180	4.4	kJ/m ²
Ball indentation hardness	EN ISO 2039	78	N/mm ²
Shore D - hardness	ISO 868	75	-
	ASTM D2240	75	-

The mechanical properties depend on the x-, y-, z-position and on the exposure parameters used.

Thermal properties

Melting point	EN ISO 11357-1	172 - 180	°C
Vicat softening temperature B/50	EN ISO 306	163	°C
	ASTM D1525	325	°F
Vicat softening temperature A/50	EN ISO 306	181	°C
	ASTM D1525	358	°F

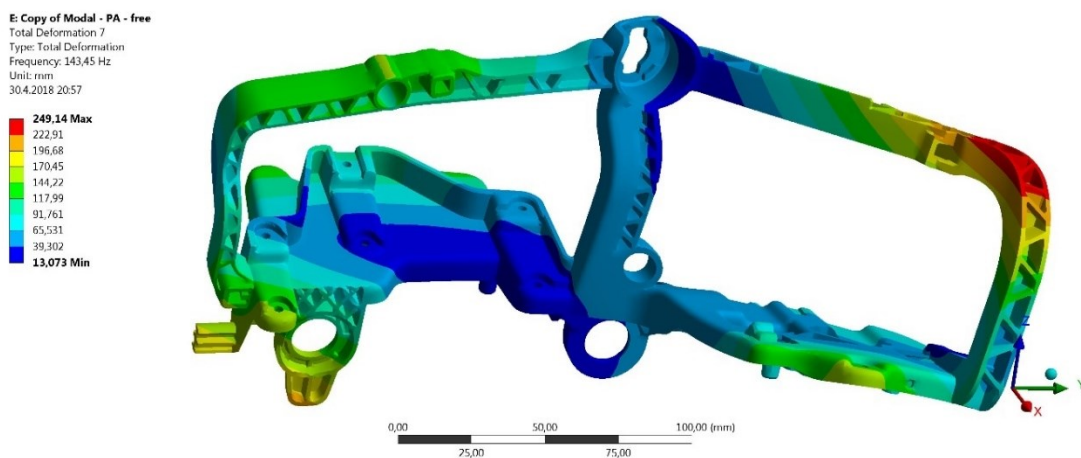
The data are based on our latest knowledge and are subject to changes without notice. They do not guarantee properties for a particular part and in a particular application.

© 2008 EOS GmbH - Electro Optical Systems. All rights reserved.

5.4 Srovnání experimentu s konečnoprvkovým výpočtem

Srovnání experimentu s konečnoprvkovým výpočtem provedeném SW Workbench zcela nekoresponduje. Vlastní tvary se shodují, ale vlastní nenulové frekvence se neshodují. Na obrázku 39 až 44 jsou znázorněny vlastní tvary experimentu a konečnoprvkové výpočty. SW STAR Struct nemá tak propracované grafické provedení vizualizace výsledků, proto je potřeba představivost pozorovatele. Srovnání hodnot vlastních nenulových frekvencí je v tabulce 11.

5.4.1 První vlastní tvar



Obrázek 39 - První vlastní tvar – MKP výpočet

#1:117.99Hz, Undeformed

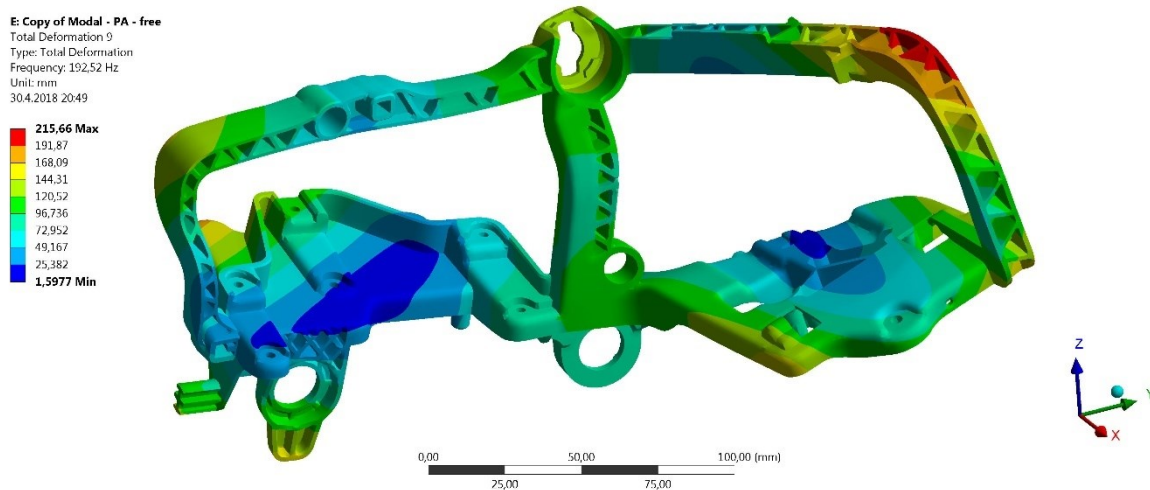


Obrázek 40 - První vlastní tvar – Experiment

5.4.2 Druhý vlastní tvar

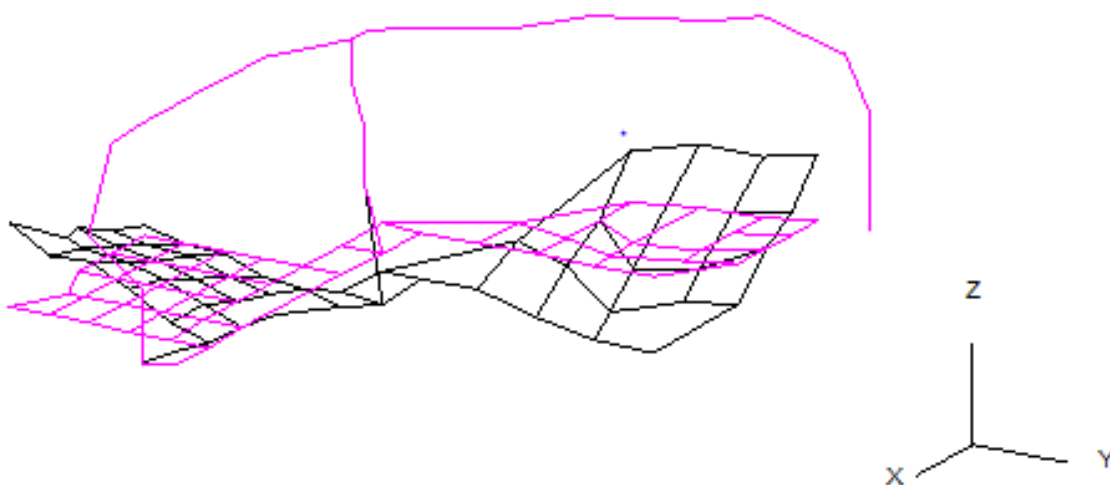
U druhého vlastního tvaru nebyla nalezena žádná shoda mezi experimentem a MKP výpočtem, a proto nebyl zařazen žádný obrázek.

5.4.3 Třetí vlastní tvar



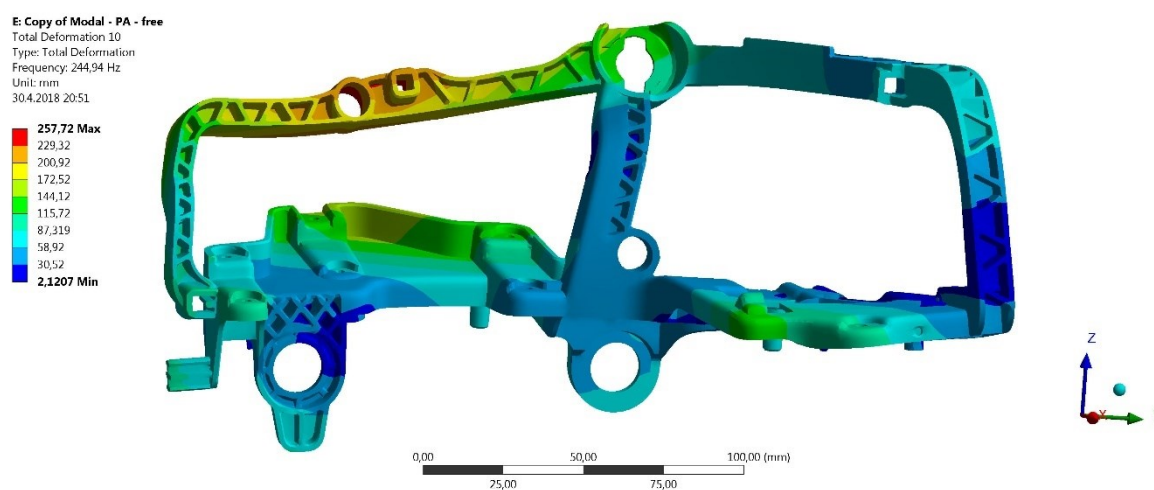
Obrázek 41 - Třetí vlastní tvar – MKP výpočet

#3:156.05 Hz, Undeformed



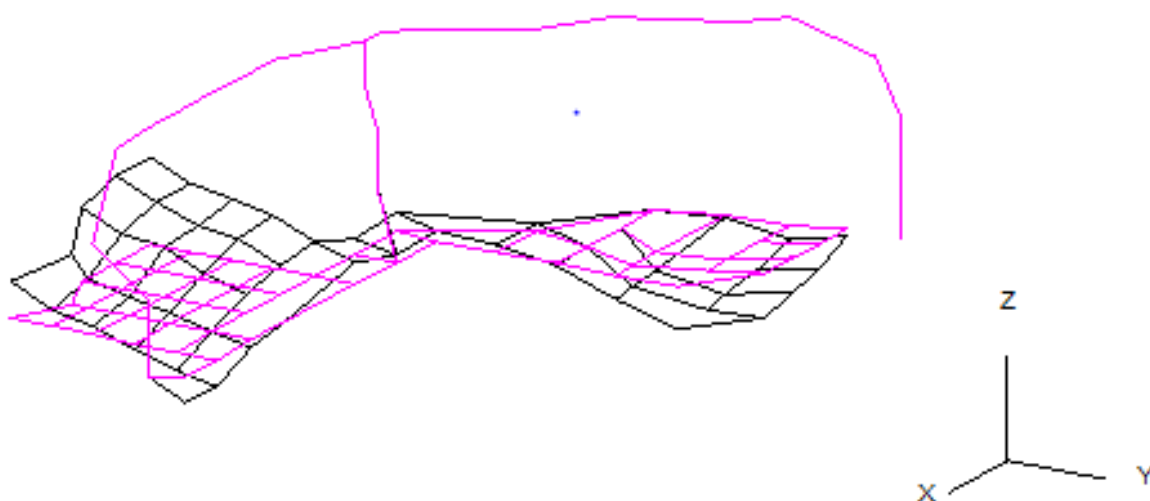
Obrázek 42 - Třetí vlastní tvar – Experiment

5.4.4 Čtvrtý vlastní tvar



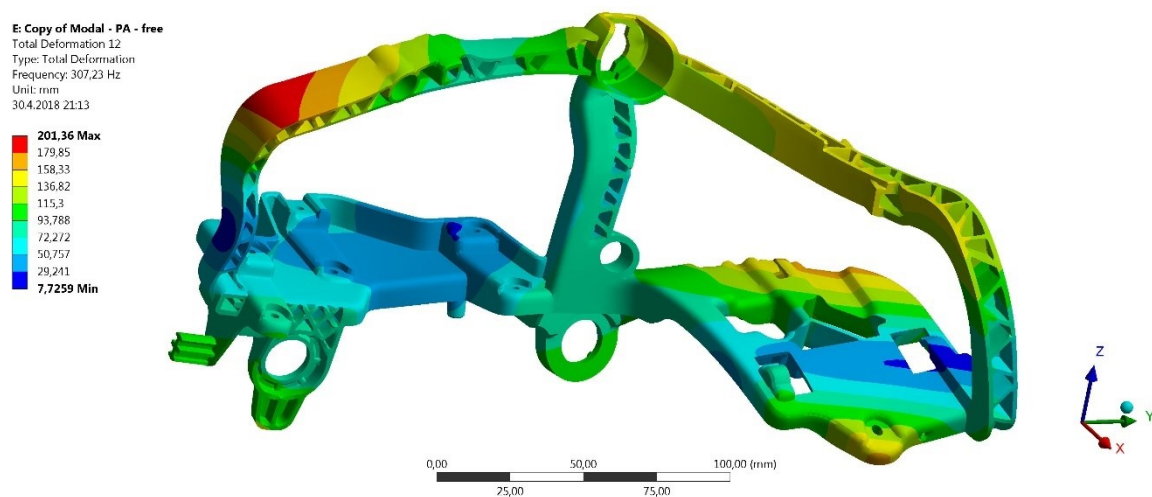
Obrázek 43 - Čtvrtý vlastní tvar – MKP výpočet

#4:212.88 Hz, Undeformed



Obrázek 44 - Čtvrtý vlastní tvar – Experiment

5.4.5 Pátý vlastní tvar



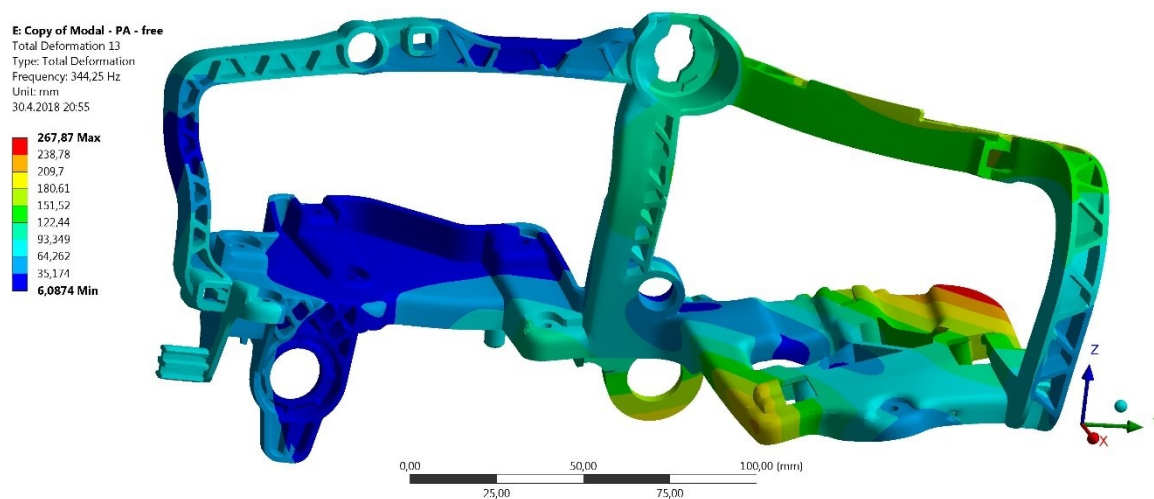
Obrázek 45 - Pátý vlastní tvar – MKP výpočet

#5:255.81 Hz, Undeformed



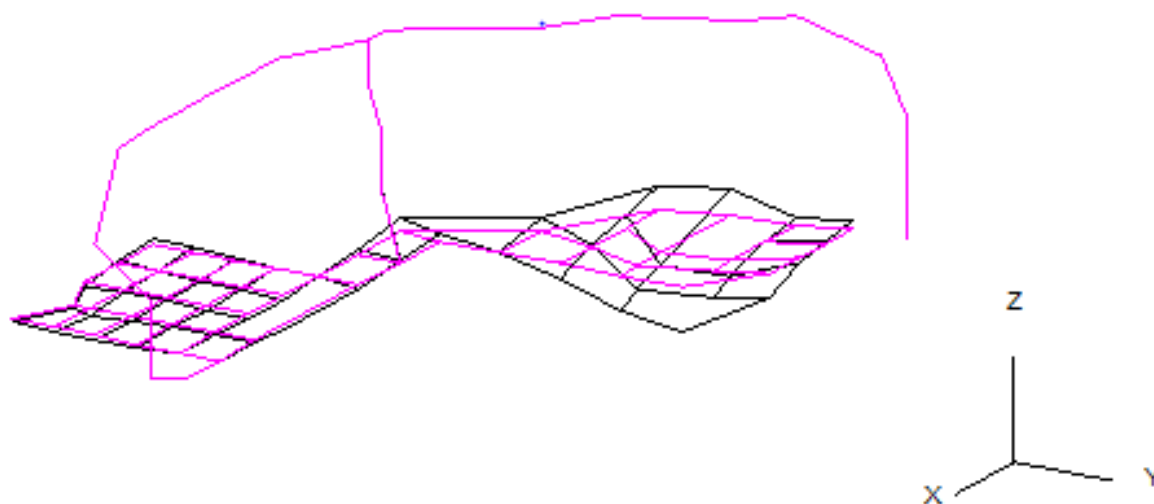
Obrázek 46 - Pátý vlastní tvar – Experiment

5.4.6 Šestý vlastní tvar



Obrázek 47 - Šestý vlastní tvar – MKP výpočet

#6:285.72 Hz, Undeformed



Obrázek 48 - První vlastní tvar – Experiment

Vlastní tvary [-]	Experiment – vlastní frekvence [Hz]	Výpočet MKP – vlastní frekvence [Hz]
První	117,99	143,45
Druhý	nenalezena	nenalezena
Třetí	156,05	192,52
Čtvrtý	212,88	244,94
Pátý	255,81	307,23
Šestý	285,72	344,25

Tabulka 11 - Srovnání vlastních tvarů

Z tabulky 11 je zřejmé, že hodnoty vlastních frekvencí experimentu a konečnoprvkového výpočtu nekorespondují. S největší pravděpodobností je chyba v materiálových vlastnostech Polyamidu 2200, která může vznikat při výrobě 3D tiskem. Při této technologii výroby může snadno dojít k ovlivnění materiálových vlastností.

5.5 Experiment materiálových vlastností

Pro nekorespondující výsledky v předešlé kapitole 5.4 je možné ověřit materiálové vlastnosti experimentem, který by měl probíhat tak, že nosný rám bude uchycen do přípravku, který umožní uchycení ve zkušební stroji. Po vložení rámu do zkušebního stroje měl být rám stlačen určitou silou. Tento experiment nemohl být uskutečněn pro jeho časovou náročnost, neboť výroba přípravku by se nestihla do konce odevzdání diplomové práce.

Druhá možnost provedení experimentu materiálových vlastností je tahovou zkouškou. Tato zkouška spočívá v tom, že se použije zkušební prvek, který je z daného materiálu o určitých rozměrech ve tvaru velkého tiskacího písmene „I“. Tento zkušební prvek je pevně vložen do tahové zkoušečky, která je napojená na počítač a která tahá prvek od sebe do té doby, než dojde k trvalé deformaci, poté počítač vygeneruje dané materiálové vlastnosti. Ani tento experiment nemohl být realizován, neboť nebyl k dispozici daný zkušební prvek s danými rozměry a tvarem.

5.6 Hledání modulu pružnosti shodujícího se s experimentem

Pro předešlé neúspěšné experimenty je hledán modul pružnosti pomocí výpočtu MKP přes SW Workbench, kde se bude měnit modul pružnosti do té doby, než se vlastní nenulové frekvence budou shodovat s experimentem modální analýzy. Odpovídající modul pružnosti pro daný model je nalezen na hodnotě 1 150 MPa. Nelze konstatovat, jestli je tato hodnota opravdu správná a u dodavatelů chybná, ale je to jedna z možných pravděpodobných úvah, proč nekorespondují vlastní frekvence pro experiment a MKP výpočty. Tyto výsledky jsou porovnány v tabulce 12.

Vlastní tvar [-]	Experiment [Hz] – vlastní frekvence	Upravené výpočty MKP – vlastní frekvence [Hz]
První	117,99	117,99
Druhý	nenalezeno	133,11
Třetí	156,05	158,35
Čtvrtý	212,88	201,46
Pátý	255,81	252,69
Šestý	285,72	283,14

Tabulka 12 - Srovnání upravených vlastních tvarů

6 Záměna materiálu Zytel za materiál Impet a srovnání výsledků analýzy MKP pro totožný design rámu

V této kapitole jsou srovnány materiály Zytel a Impet na stejném modelu. Je provedena modální analýza, která je počítána na oba dva materiály ve dvou odlišných podmínkách, při teplotě 20 °C a 90 °C. Základní podmínkou zůstává přesáhnout první nenulovou frekvenci 50 Hz. Poté jsou porovnány hmotnosti obou dílů a celkové deformace při obou teplotách. Výsledky jsou ukazatelem dynamické tuhosti. Během vypracování diplomové práce bylo rozhodnuto zadavatelem, že materiál Impet bude novým materiálem pro zadaný nosný rám z důvodu cenové výhodnosti.

Materiál	Zytel	Impet
Hmotnost [kg]	0,215	0,25449
První vlastní frekvence při 20 °C [Hz]	57,214	54,534
První vlastní frekvence při 90 °C [Hz]	50,95	43,866
Celková deformace při 20 °C [mm]	0,0889173	0,096261
Celková deformace při 90 °C [mm]	0,11501	0,14877

Tabulka 13 - Srovnání dvou materiálů na stejném rámu

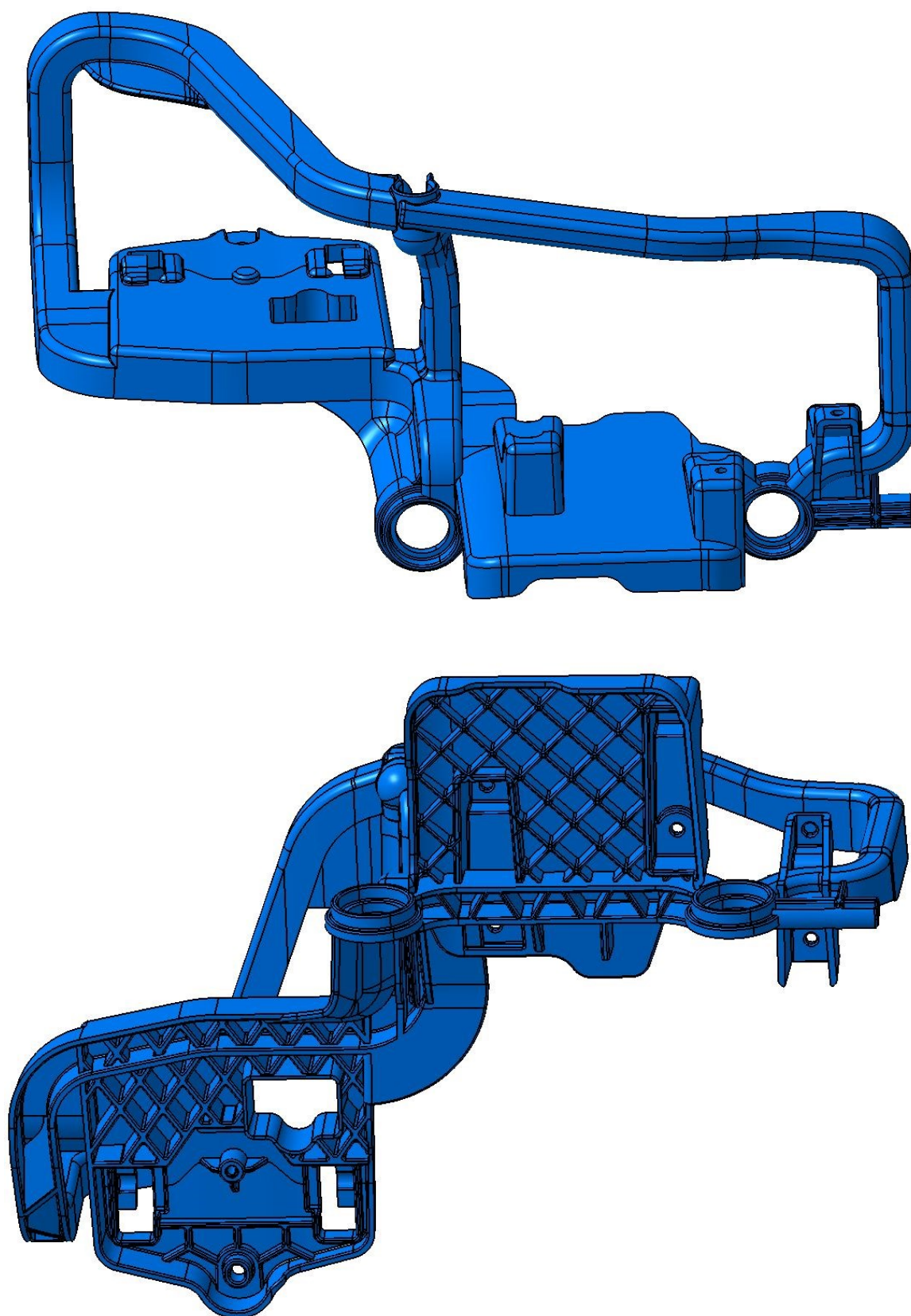
V tabulce 13 jsou výsledky obou materiálů. Materiál Zytel ztrácí svou dynamickou tuhost díky působení teploty o 11 %. Impet ztrácí dynamickou tuhost za stejných teplotních podmínek o 20 %. Výhodou Zytelu je nižší hmotnost rámu o 18 % než u Impetu a u obou teplot má nižší celkovou deformaci. Proto bude snaha optimalizovat rám z materiálu Impet tak, aby se vyrovnal vlastnostem rámu z materiálu Zytel.

7 Optimalizace návrhu rámu světlometu z materiálu Impet

V této kapitole je navrženo pět optimalizačních variant, které se vyhodnocují a porovnávají vzestupně. Bude doporučena nejvíce vyhovující varianta s ohledem na bezpečnost, funkčnost a ekonomické hledisko. V nosném rámu světlometu jsou měněny rozměry i tvary, aby bylo dosaženo uvedených požadavků. Okrajové podmínky jsou pro všechny varianty stejné a měnit se nebudou. Prvním kritériem je dosažení první nenulové vlastní frekvence na 50 Hz a více. Druhým kritériem je tuhost nosného rámu, která nesmí být na úkor vyšší hmotnosti. Musí být nalezena rovnováha mezi tuhostí a hmotností nosného rámu. Pro úpravu modelu nosného rámu je použit SW Catia a pro výpočty MKP je použit SW Workbench. Všechny varianty prošly optimalizací, jak pevnostní, tak i designovou.

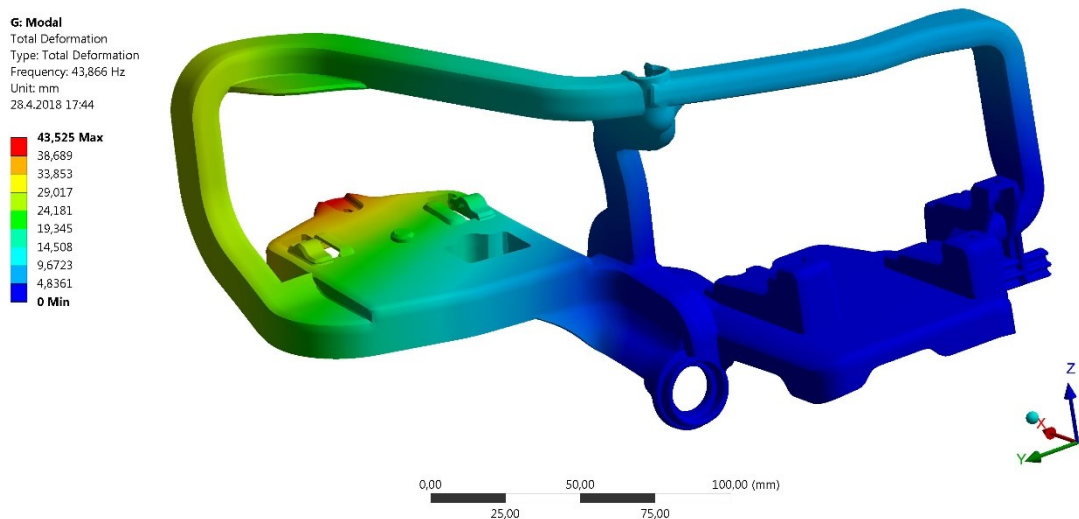
7.1 První varianta

První varianta modelu nosného rámu je výchozím návrhem, který se tvarem přibližuje požadavkům zadavatele. Dá se předpokládat, že tato varianta nebude finální, ale bude výchozí pozicí pro následující variantu. Celková hmotnost nosného rámu je 0,25449 kg. Na obrázku 49 je znázorněn 3D model nosného rámu ze dvou pohledů. První pohled je na horní část a druhý pohled je na spodní část rámu, kde je vidět vyztužení. Počet elementů této varianty je 60 587 a uzlů je 193 937.



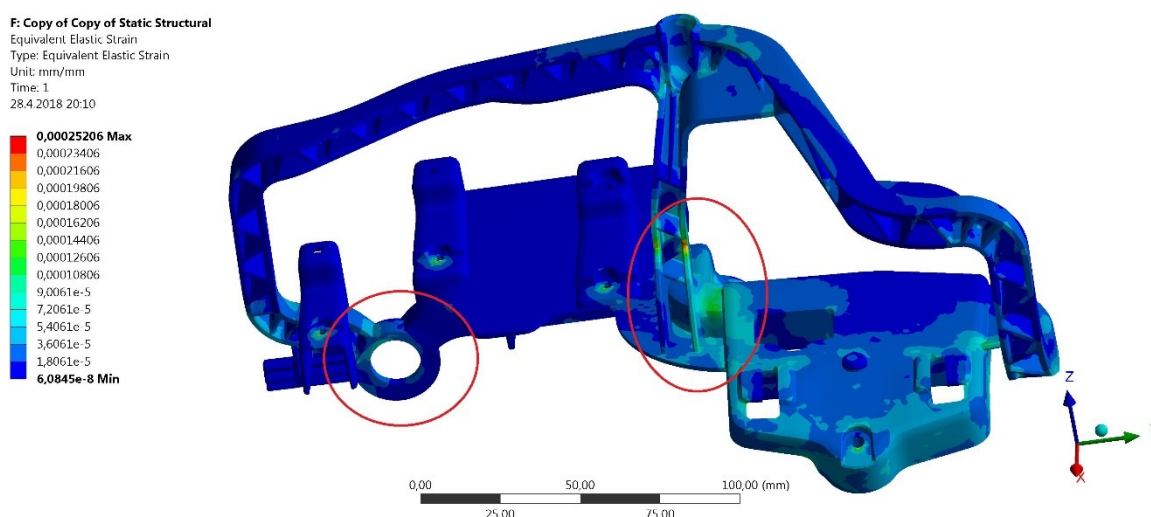
Obrázek 49 - 3D model první varianty nosného rámu – vrchní a spodní pohled

Na obrázku 50 je vyobrazen výpočet první nenulové vlastní frekvence pro první variantu. Nejdůležitější první kritérium nebylo splněno, protože nebylo dosaženo první nenulové vlastní frekvence 50 Hz nebo nad 50 Hz, ale „pouze“ 43,866 Hz. Modální analýza odhaluje kmitání vnějšího ramene rámu ve svislém směru. Tento výsledek je předvídatelný, neboť se zde nenachází uchycení nosného rámu, a proto je nutno se na tuto část zaměřit s optimalizací.

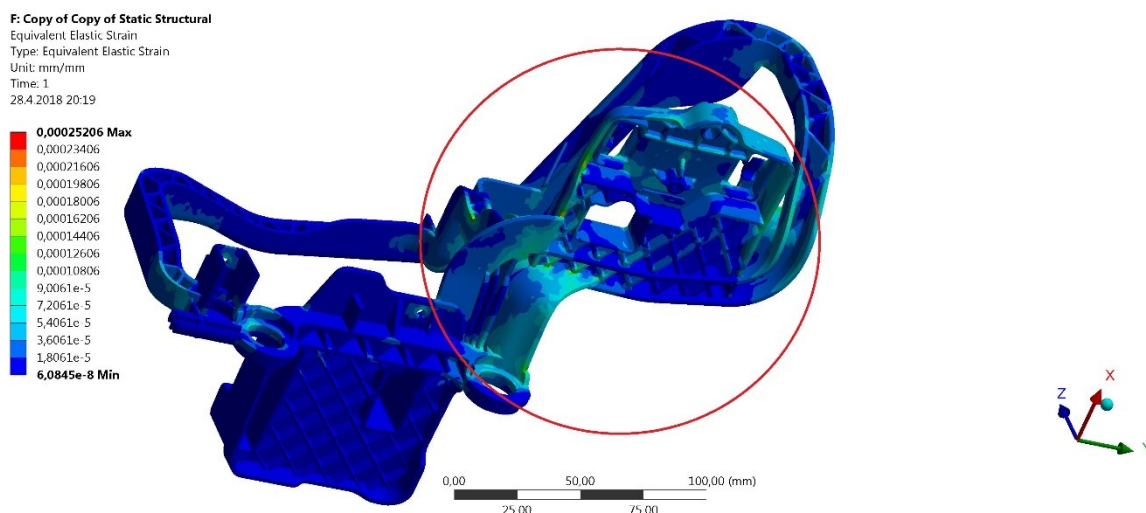


Obrázek 50 – První varianta – první vlastní frekvence

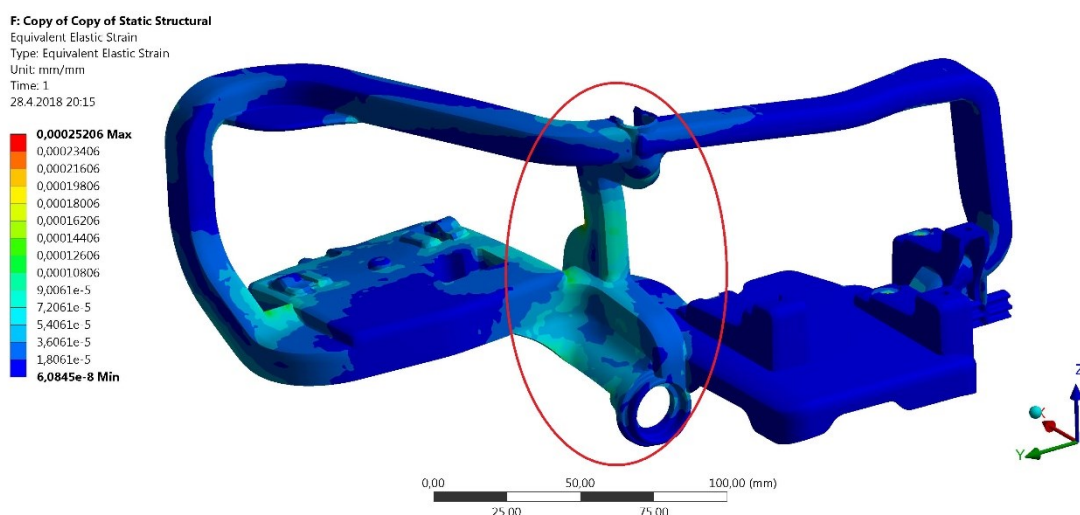
Na obrázku 51–53 je zobrazena analýza poměrné deformace. Tato analýza ukáže kritická místa, která se musí vhodně vyztužit. Kritická místa jsou označena na obrázku červenou elipsou.



Obrázek 51 - První varianta – poměrná deformace (vrchní část)

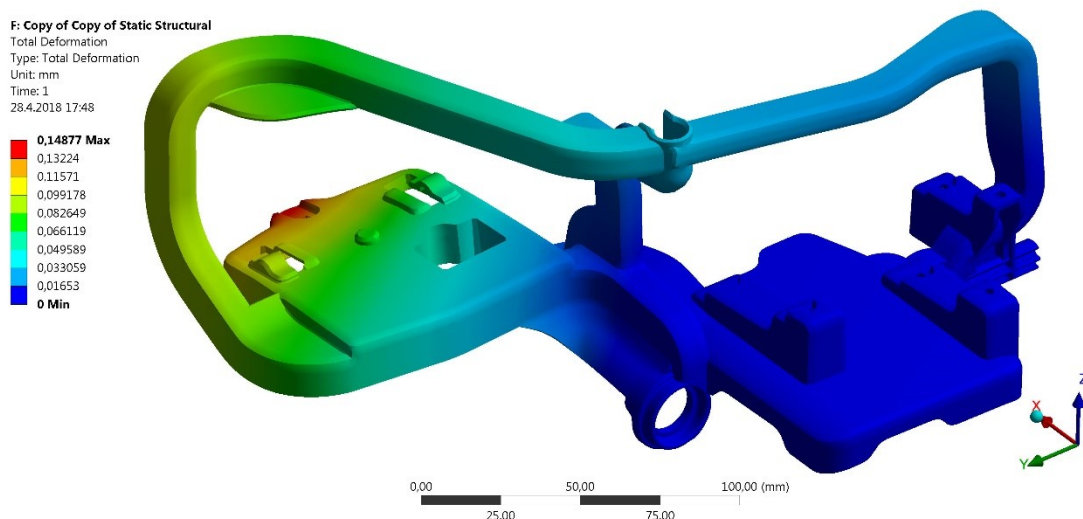


Obrázek 52 – První varianta – poměrná deformace (spodní část)



Obrázek 53 – První varianta – poměrná deformace (přední část)

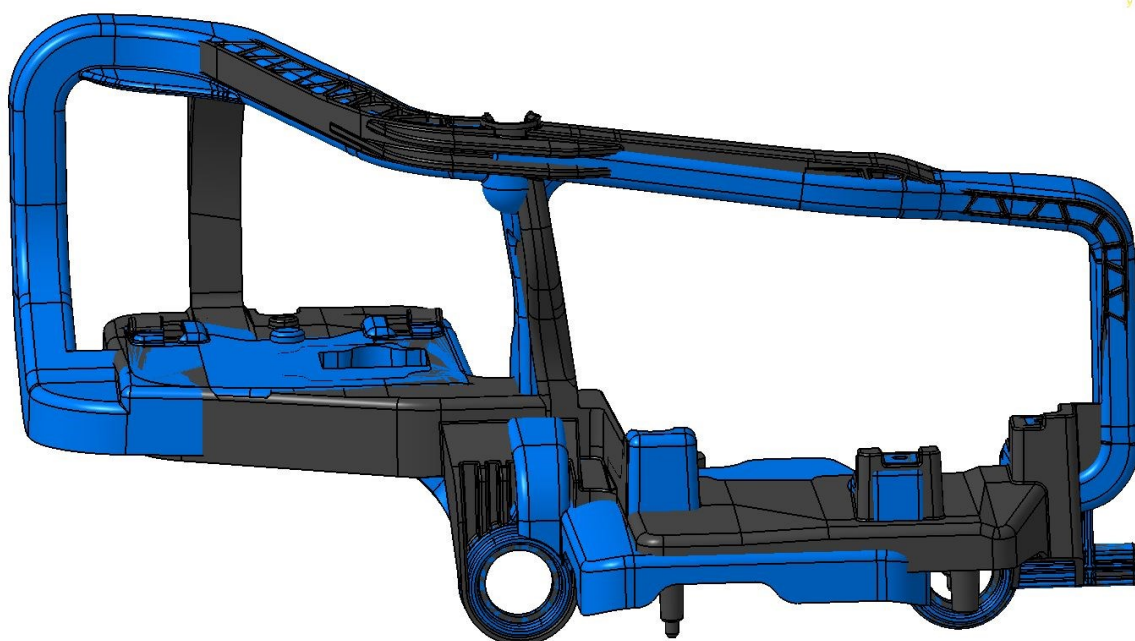
Na posledním obrázku 54 týkajícím se první varianty je výpočet celkové deformace nosného rámu. Nejvíce zatěžovaná část je vnější část světlometu v místech, kde je připevněn modul Low Beam. Největší deformace je 0,149 mm. Mohlo by se zdát, že je to hodnota zanedbatelná, ale i tato deformace by ovlivnila celou optiku modulu, která má vliv na světelné paprsky směřující na silnici, a proto je nutno optimalizovat.



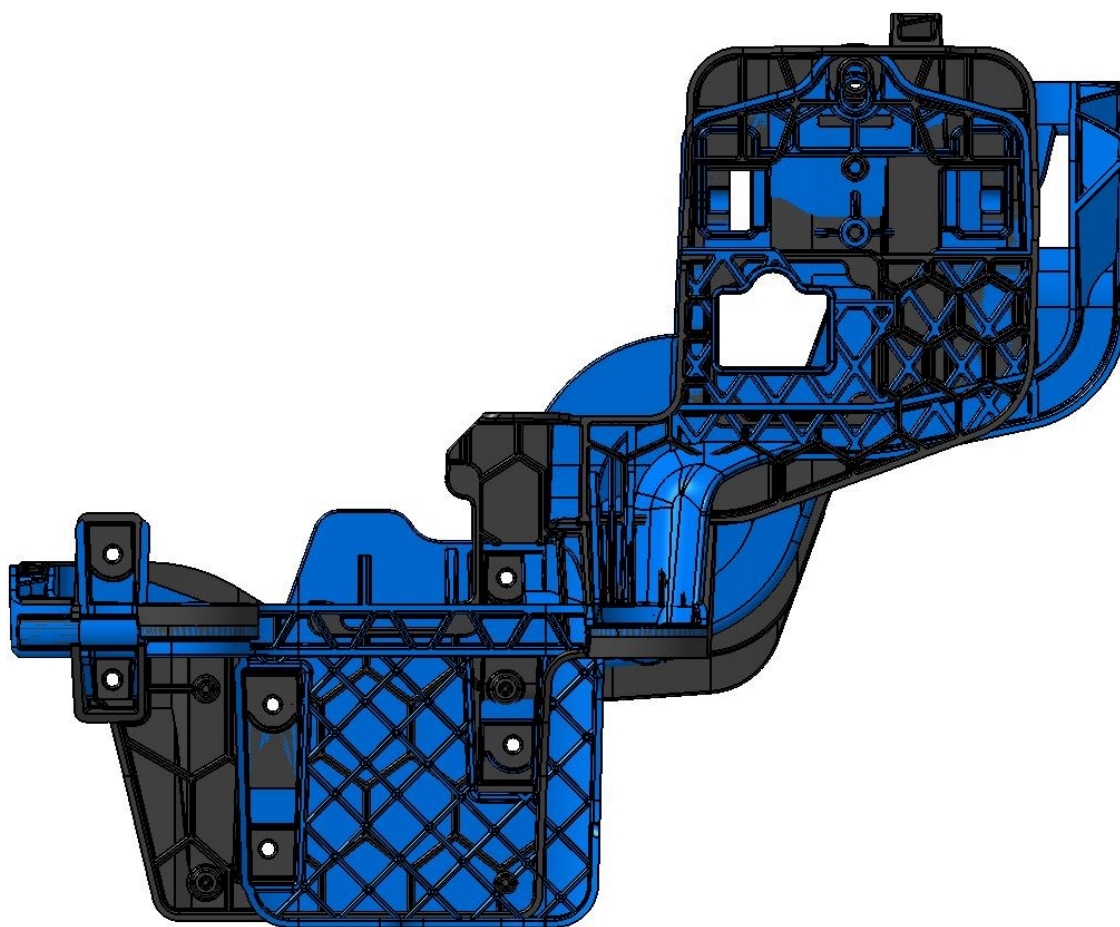
Obrázek 54 – První varianta – celková deformace

7.2 Druhá varianta

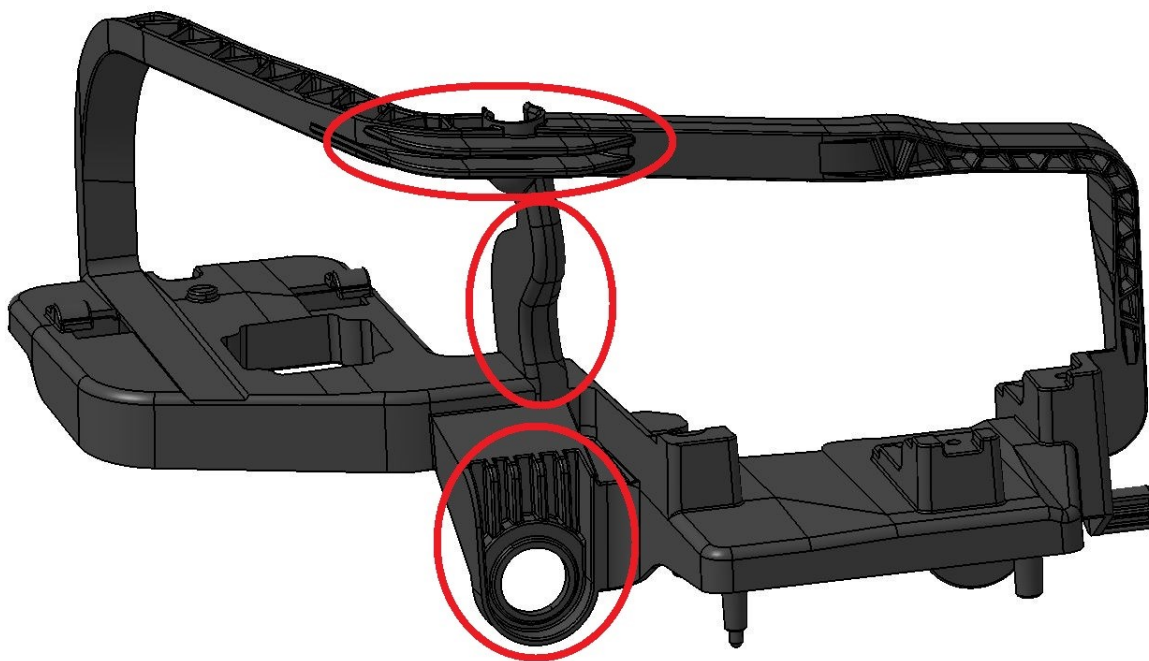
Z výpočtů předešlé konstrukce je provedena první optimalizace, dle které se musí vyztužit několik částí. První vyztuženou částí je místo nahoře u pouzdra zamezující posuv v ose x dvěma horizontálními žebry. Druhou vyztuženou částí je místo uchycení čtyřmi svislými žebry, kde je rám vetknut. Vnější rameno je posunuto více dozadu, to znamená více k těžišti celého rámu z důvodu jeho stability. Zároveň je žebrování ramen natočeno o 90°. Je zesílen prostřední sloupek. Plocha pod modulem Hight Beam (vnitřní strana) je změněna u uchycení, kde je zamezováno posuvu v osách x a z. Nakonec se mění vyztužení spodní části rámu, kde se nahradí kosočtvercová žebra za šestiúhelníková žebra. Tužší variantou by byla žebra kruhová nebo elipsovitá, pro jejich vyšší hmotnost a spotřeby více materiálu, tato možnost nevyhovuje zadání. Pro lepší chlazení celého systému je vytvořen otvor pro proudění vzduchu z větráku. Na obrázku 55 a 56 je možno vidět v odlišných barvách obě varianty nosného rámu pro lepší představu změny. Modrý rám je původní – první varianta a černý rám je optimalizovaný rám – druhá varianta. Celková hmotnost rámu je 0,2345 kg, je tedy mírně snížena. Počet elementů v této variantě je 41 325 a uzlů je 123 789.



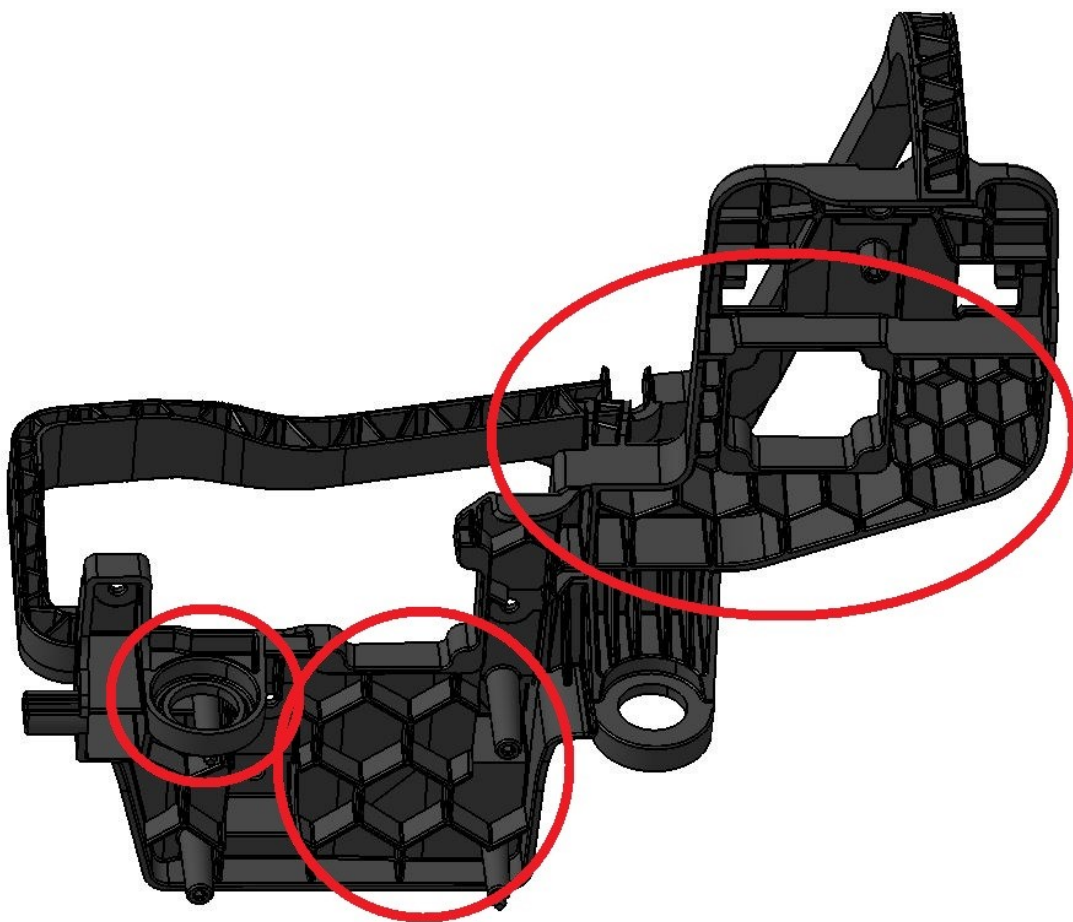
Obrázek 55 - 3D model první a druhé varianty nosného rámu (přední část)



Obrázek 56 - 3D model první a druhé varianty nosného rámu (spodní část)

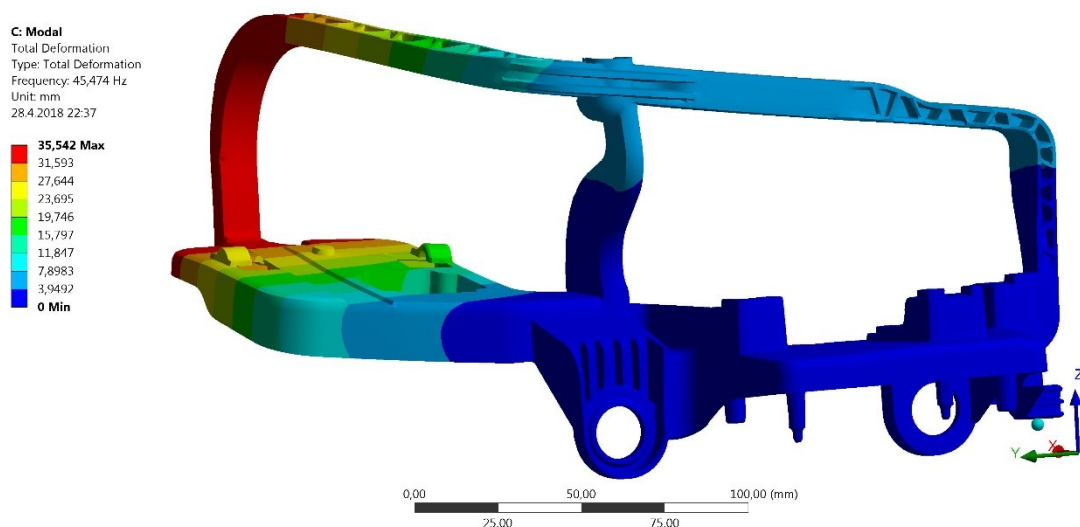


Obrázek 57 – Druhá varianta – vyznačená optimalizace (přední část)



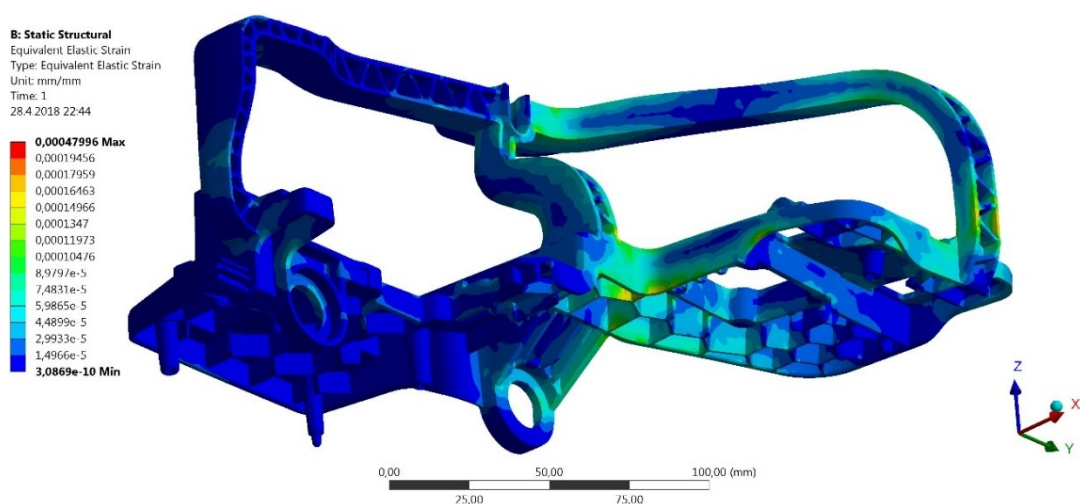
Obrázek 58 – Druhá varianta – vyznačená optimalizace (spodní část)

Modální analýza druhé varianty je zobrazena na obrázku 59. Jako u první varianty je kritickým místem vnější neuchycená část nosného rámu. První nenulová vlastní frekvence v druhé variantě je 45,474 Hz, je to nepatrné zlepšení, ale nevyhovuje zadané podmínce.

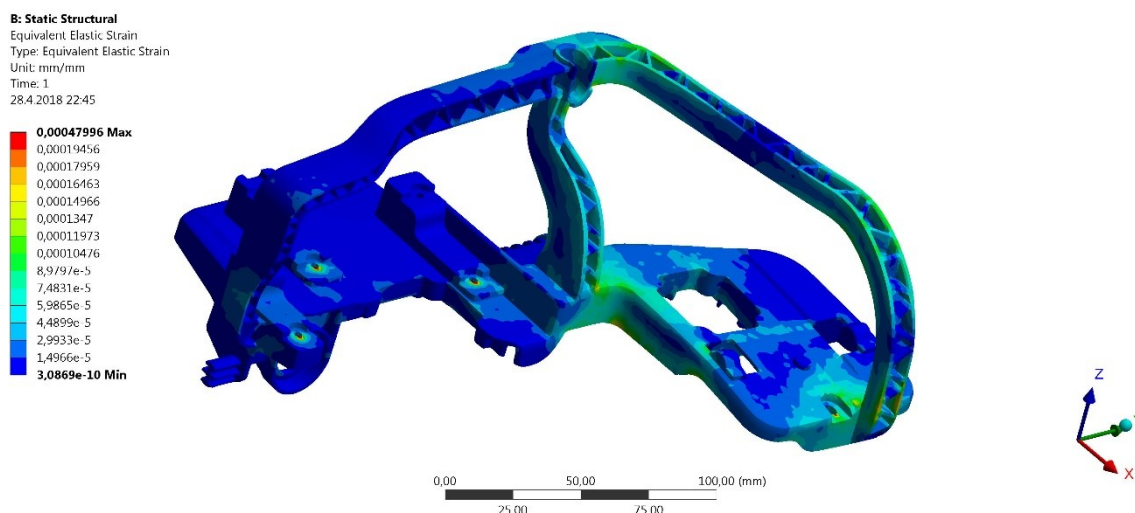


Obrázek 59 - Druhá varianta – první vlastní frekvence

Na obrázku 60 a 61 je zobrazen výpočet pro poměrnou deformaci, který odhalí místo, kde se bude vyztužovat. Jedná se převážně o prostřední sloupek a vnější plochu rámu s modulem Low Beam.

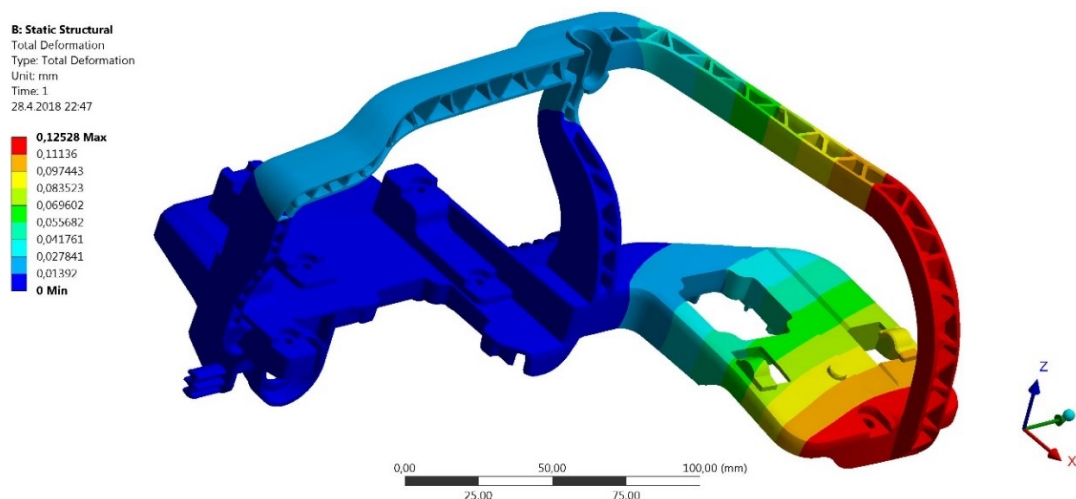


Obrázek 60 – Druhá varianta – poměrná deformace (spodní část)



Obrázek 61 – Druhá varianta – poměrná deformace (vrchní část)

Na obrázku 62 je analýza celkové deformace, která je 0,12528 mm. Je to nepatrné zlepšení oproti první variantě.

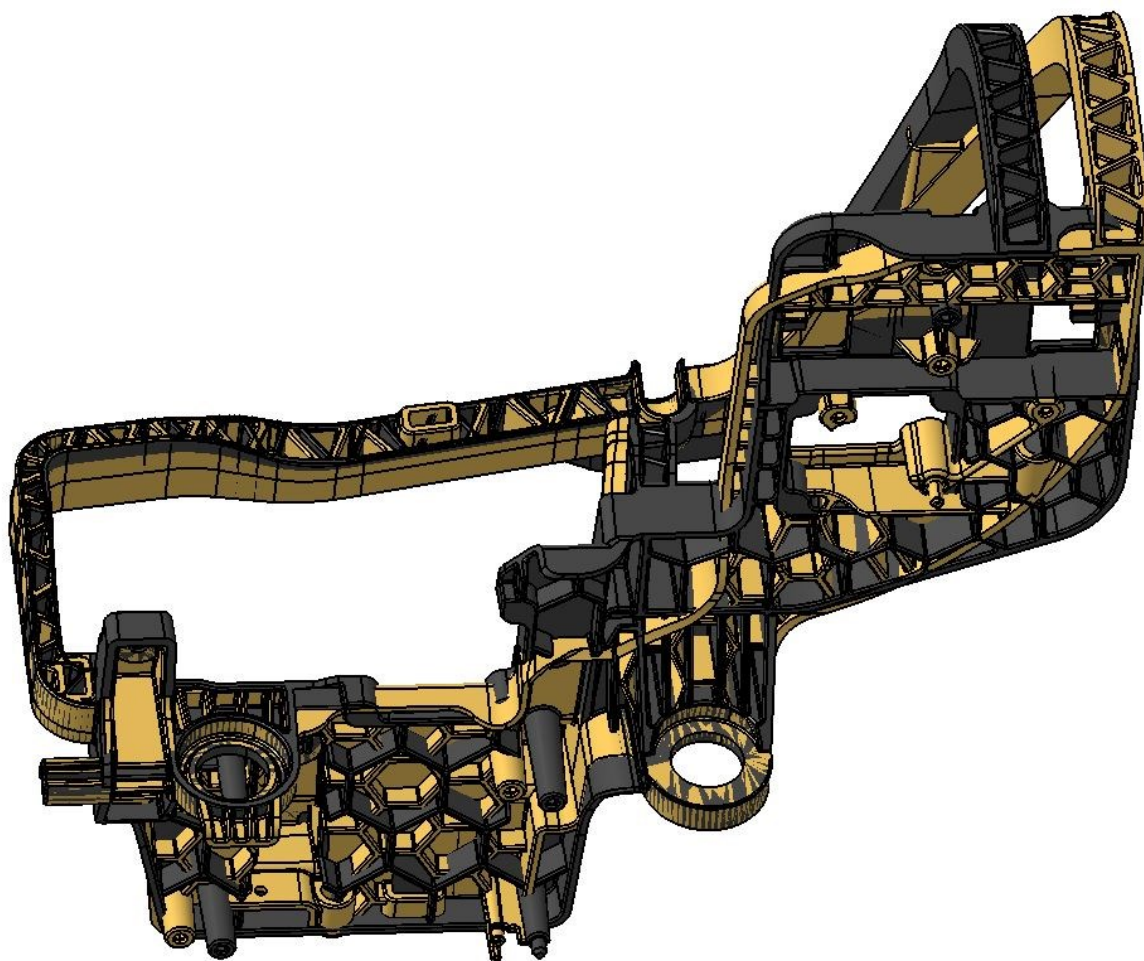


Obrázek 62 – Druhá varianta – celková deformace

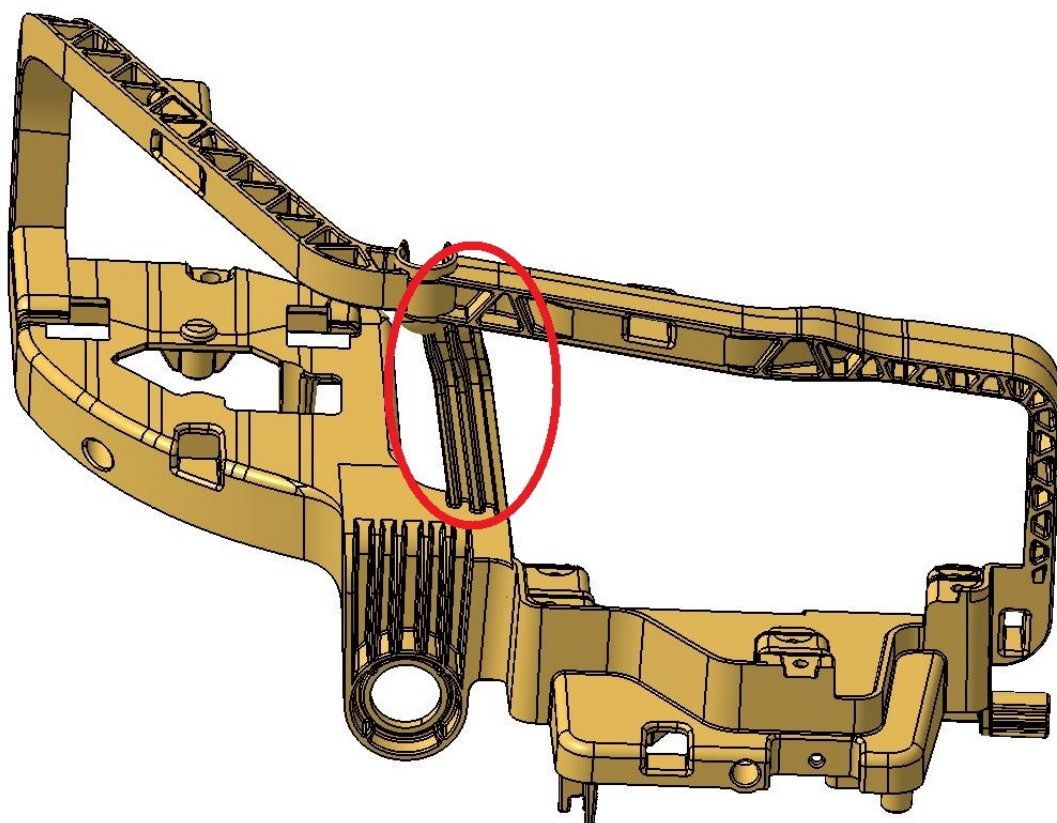
7.3 Třetí varianta

Ve třetí variantě jsou provedeny změny podle výpočtů z druhé varianty. Zásadní změna je v žebrech pod plochami modulu Hight Beam a Low Beam, kde je vytvořen větší počet menších šestiúhelníků, zobrazeno na obrázku 65. Další změna je provedena na prostředním sloupku, zobrazeno na obrázku 64. Je vytvořen lem pod modulem Hight Beam pro zpevnění celé oblasti. Na obrázku 63 je znázorněn původní model druhé varianty v černé barvě a změna na třetí variantu je vykreslena žlutou barvou. Celková

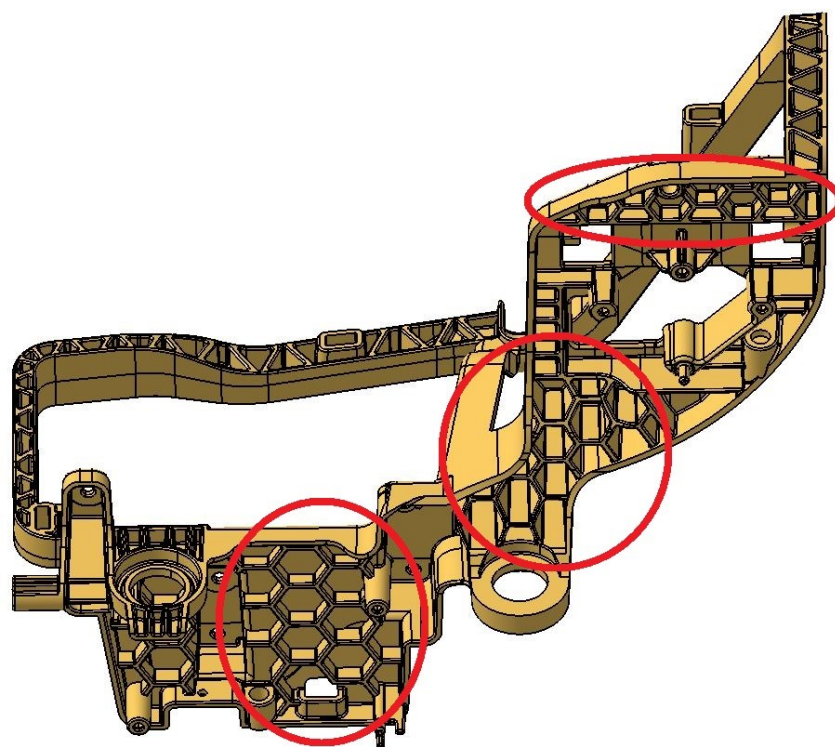
hmotnost rámu se snížila na 0,226 kg. Model v této variantě má 39 350 elementů a 126 069 uzlů.



Obrázek 63 - 3D model druhé a třetí varianty nosného rámu (spodní část)

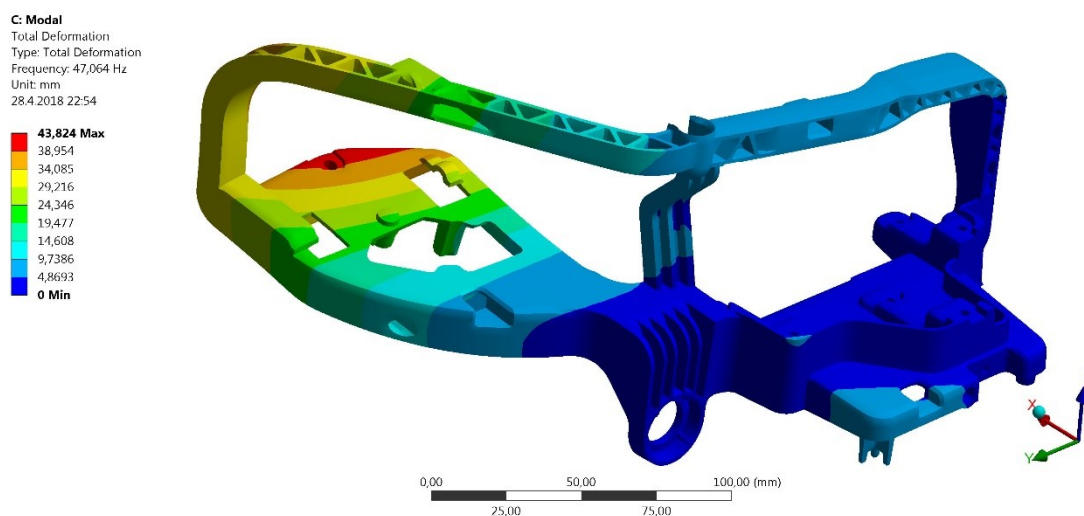


Obrázek 64 Třetí varianta – vyznačená optimalizace (přední část)



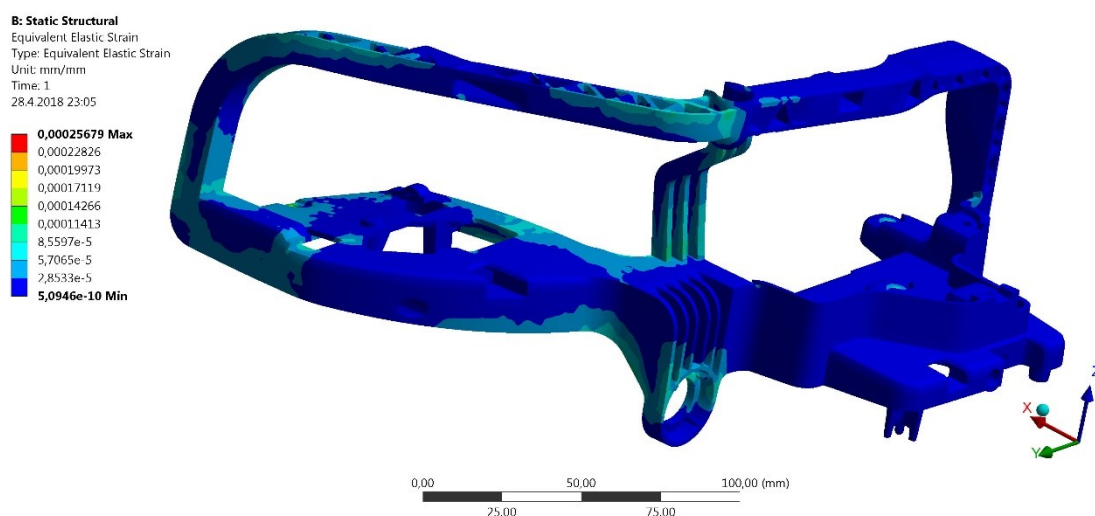
Obrázek 65 – Třetí varianta – vyznačená optimalizace (spodní část)

U třetí varianty je první nenulová vlastní frekvence 47,064 Hz, viz obrázek 66, stále není splněno první kritérium.



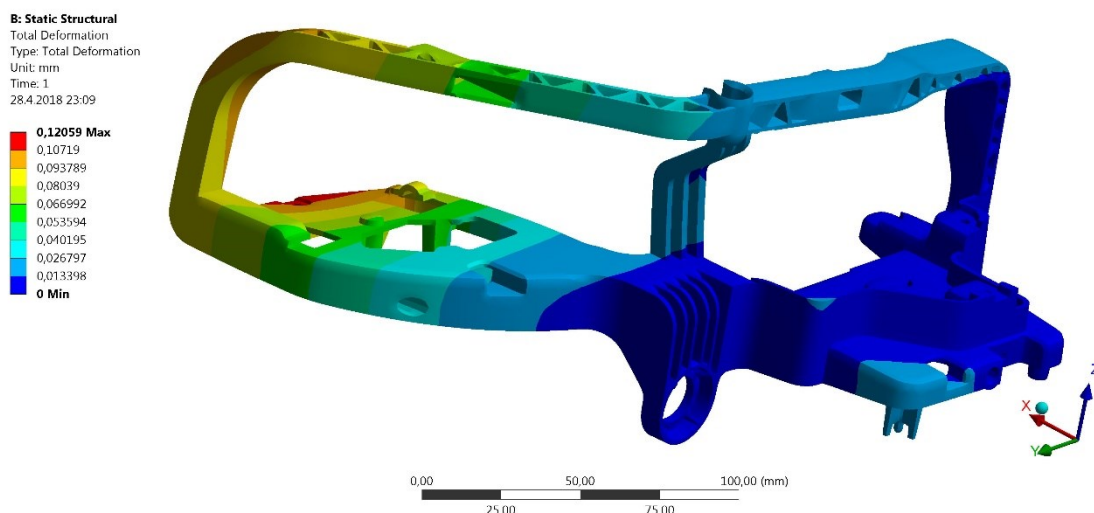
Obrázek 66 – Třetí varianta – první vlastní frekvence

Poměrná deformace poukazuje na úpravu prostředního sloupku. Úprava se bude týkat také větracího otvoru a všech bodů uchycení, viz obrázek 67.



Obrázek 67 - Třetí varianta – poměrná deformace

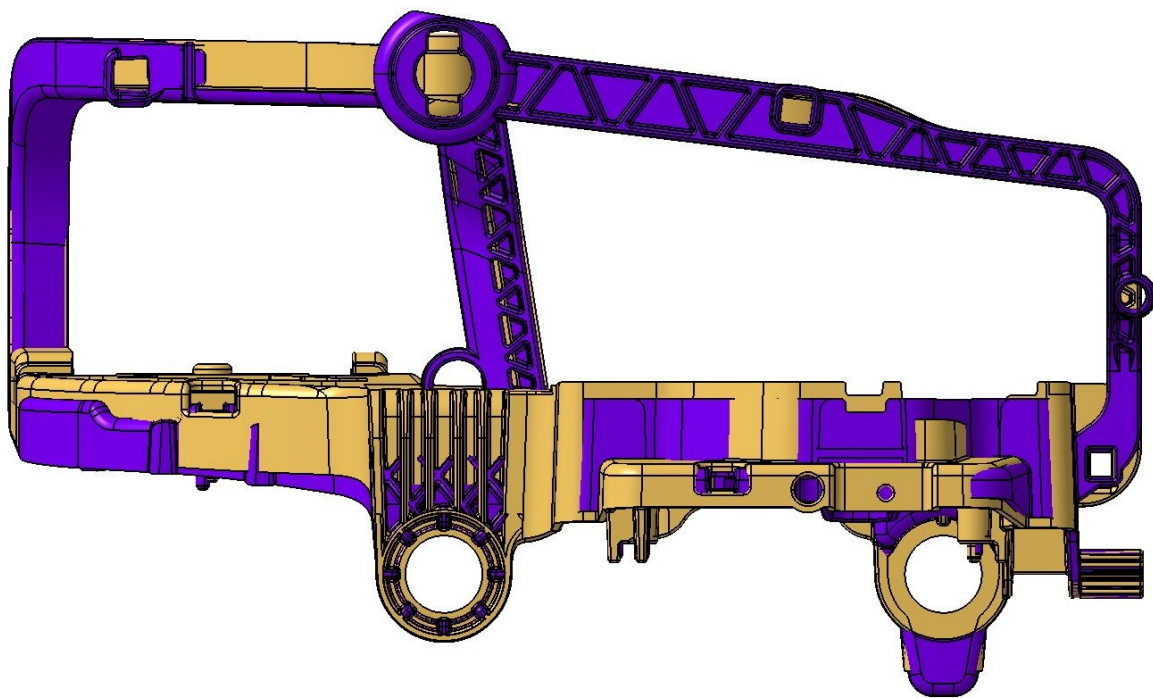
Celková deformace je 0,12059 mm, je menší než u předešlé druhé varianty, viz obrázek 68.



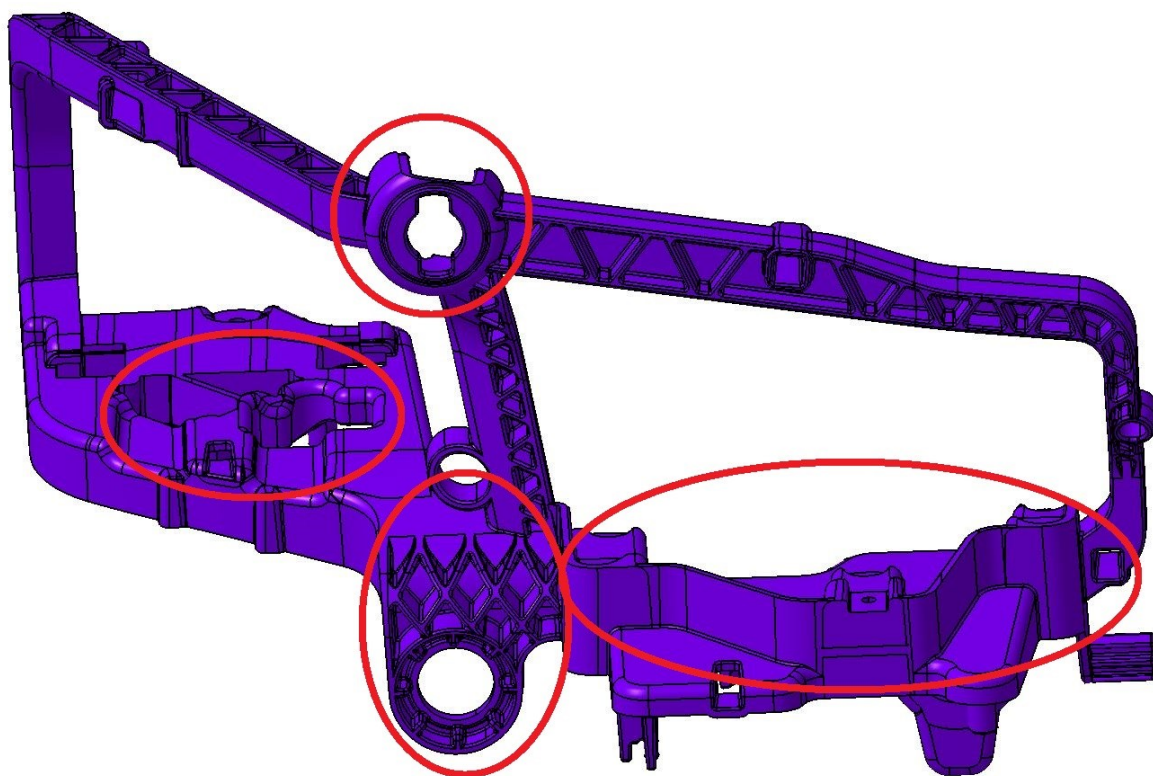
Obrázek 68 - Třetí varianta – celková deformace

7.4 Čtvrtá varianta

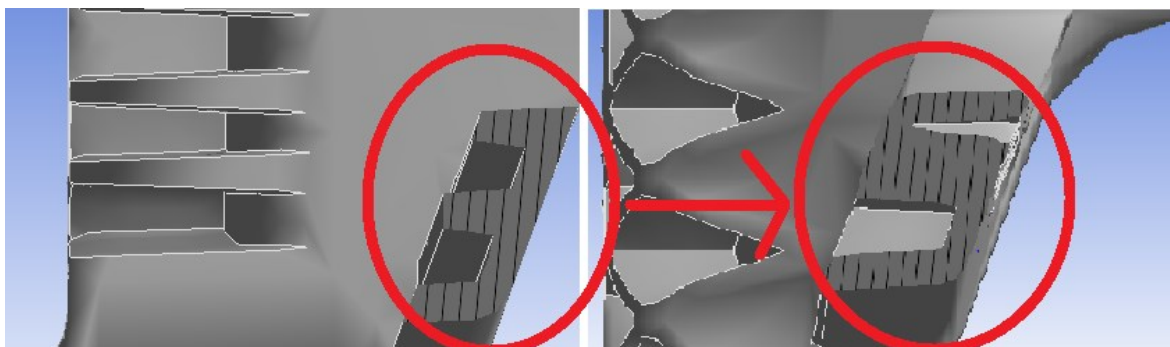
Zásadní změny čtvrté varianty jsou v místech, kde je rám uchycen. Obě uchycení v dolní části jsou nově žebrována pro zlepšení pevnosti, předchozí žebrování vedlo svisle shora dolů a současná žebra jsou vytvarována do kosočtverců. Je změněno uchycení v horní části, místo lůžka vzniká kruhový otvor, do kterého je vsunut mezičlánek, který bude připojen k další části světlometu. Tato změna není pro zpevnění rámu, ale pro lepší montáž. Velkou změnou prochází také prostřední sloupek, který mění profil. V předešlé variantě měl tvar „ležatého E“ a nyní bude mít tvar „ležatého S“, viz obrázek 71, s tímto krokem dojde také k jinému žebrování profilu. Toto vylepšení je provedeno z důvodu stability a tuhosti, je třeba zmínit, že se uvedená změna obešla beze změny objemu materiálů. Došlo také ke změně otvoru pro větrák. Na obrázku 69 je žlutou barvou vyznačen rám třetí varianty a fialovou barvou je vyznačen rám čtvrté varianty. Celkovou hmotnost se podařilo snížit na 0,2217 kg. V této variantě je počet elementů 38 460 a uzlů 115 144.



Obrázek 69 – Třetí a čtvrtá varianta

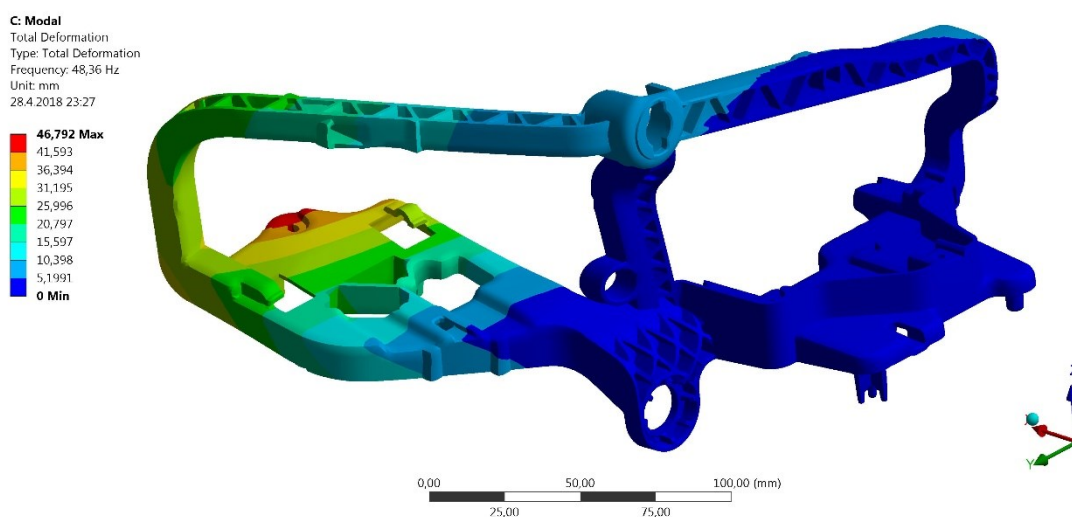


Obrázek 70 – Čtvrtá varianta – vyznačená optimalizace (přední část)



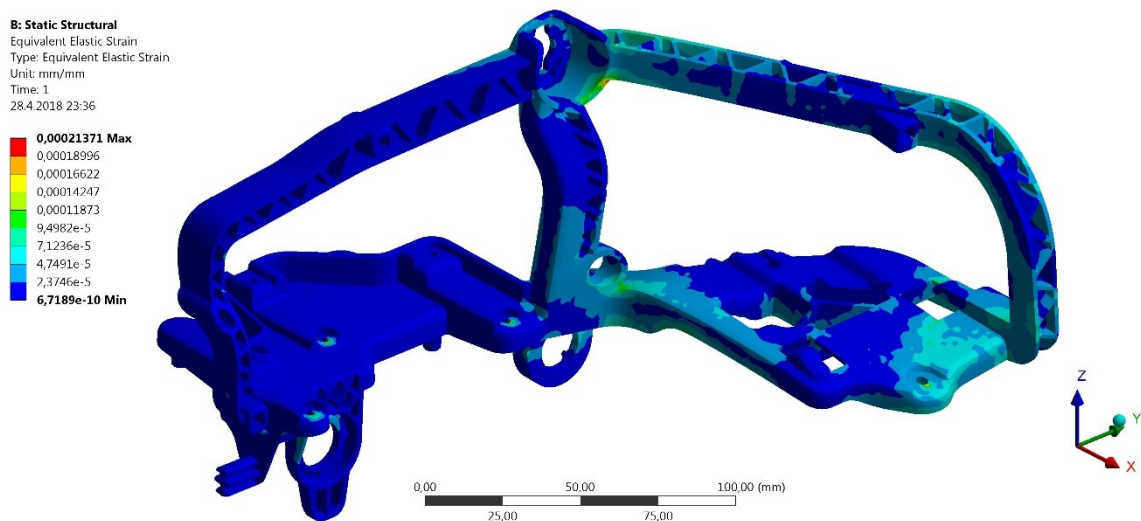
Obrázek 71 – Čtvrtá varianta – změna profilu prostředního sloupku

Na obrázku 72 je u čtvrté varianty zobrazena modální analýza první vlastní frekvence, která je 48,36 Hz. Hodnota je nedostatečná, musí se pokračovat v optimalizaci.



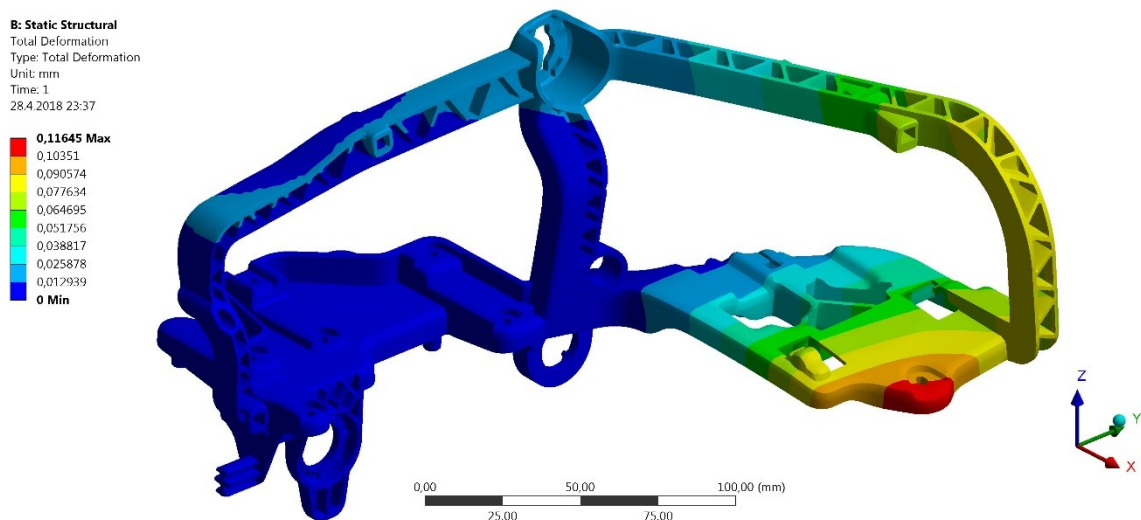
Obrázek 72 - Čtvrtá varianta – První vlastní frekvence

Na obrázku 73 je poměrná deformace rámu, která ukázala další kritická místa.



Obrázek 73 - Čtvrtá varianta – poměrná deformace

Na obrázku 74 je zobrazena celková deformace, která je opět nižší, 0,11656 mm.

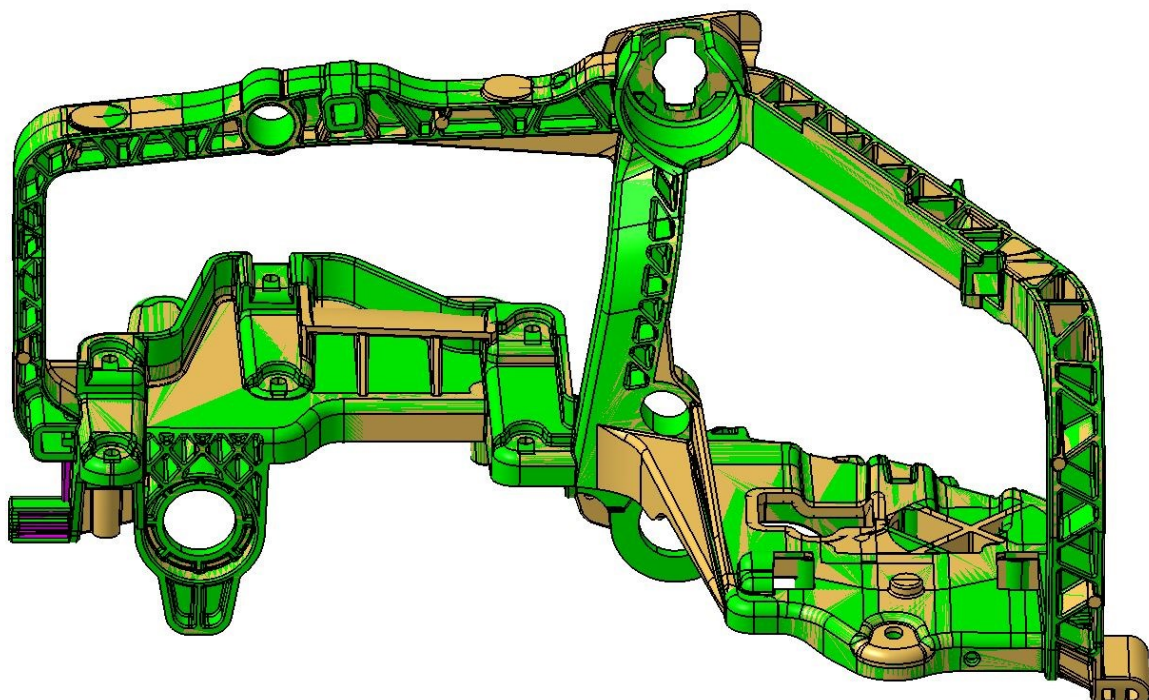


Obrázek 74 - Čtvrtá varianta – celková deformace

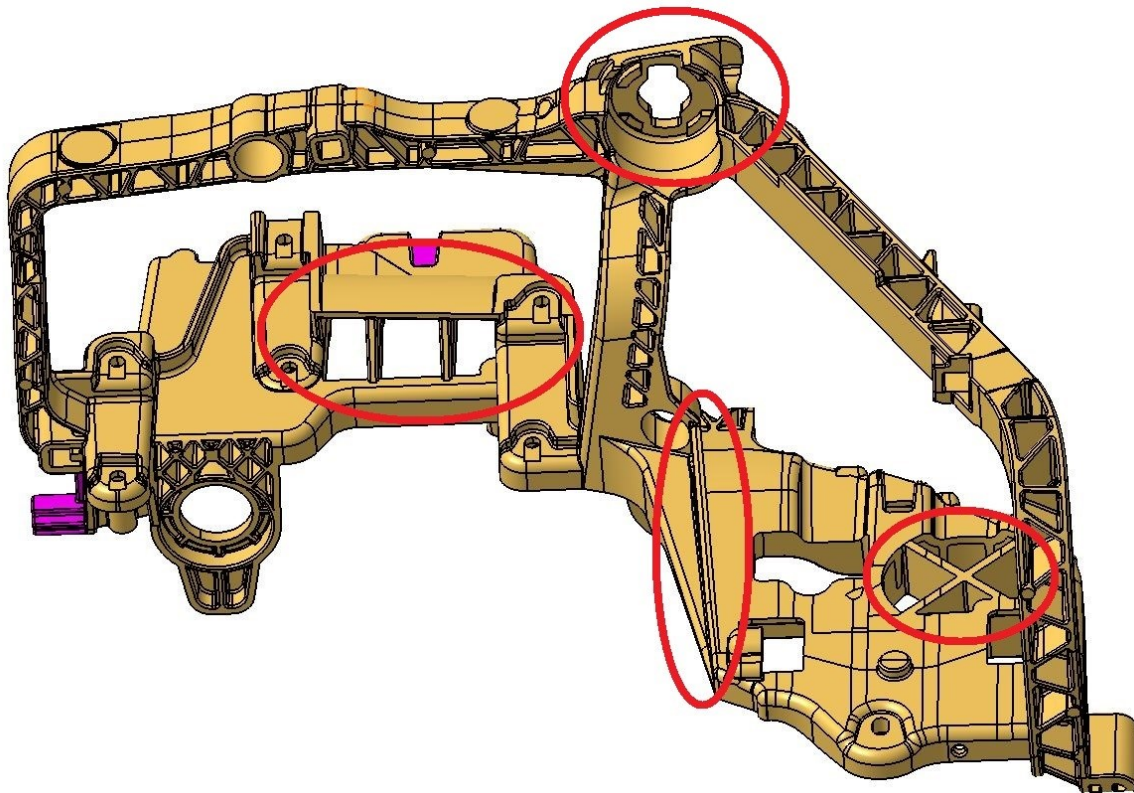
7.5 Pátá varianta

U páté varianty je vyztužena část za prostředním sloupkem tenkým svislým žebrem ve tvaru trojúhelníka a je zpevněno horní uchycení rámu. Dále jsou vytvořeny otvory pro lepší cirkulaci vzduchu. Pod High Beam je vytvořena kapsa neboli otvor s dvěma svislými žebry a pod Low Beam je otvor, ve kterém jsou vytvořena žebra ve tvaru kříže. Na obrázku 76 jsou zobrazeny všechny optimalizační úpravy. Čtvrtá varianta je vyznačena světle zelenou a pátá varianta je žlutou barvou, viz obrázek 75. Celková hmotnost je 0,23321 kg, oproti

čtvrté variantě se nepatrně zvýšila. Počet vytvořených elementů je 44 394 a počet uzlů je 143 647.

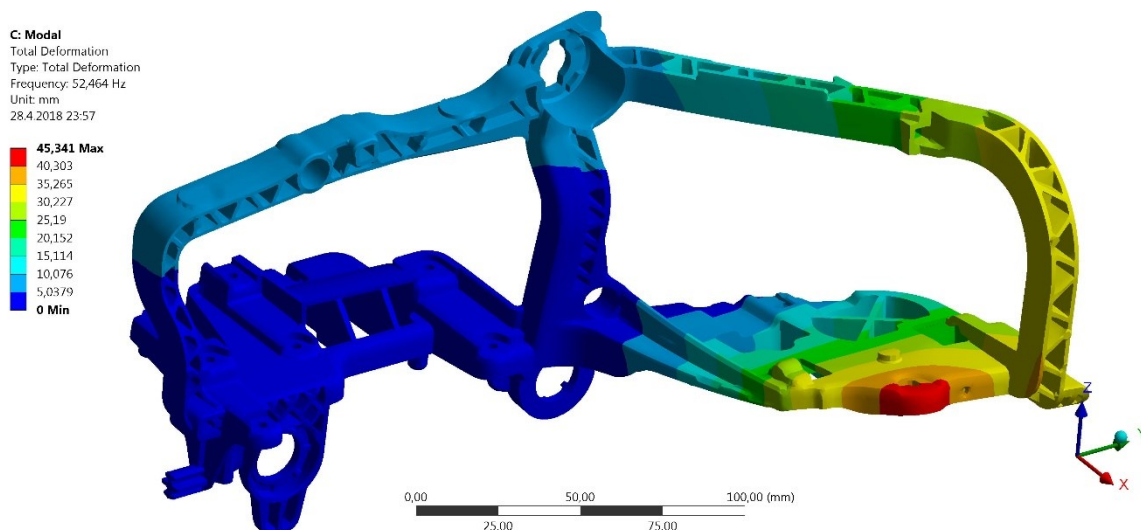


Obrázek 75 – Čtvrtá a pátá varianta



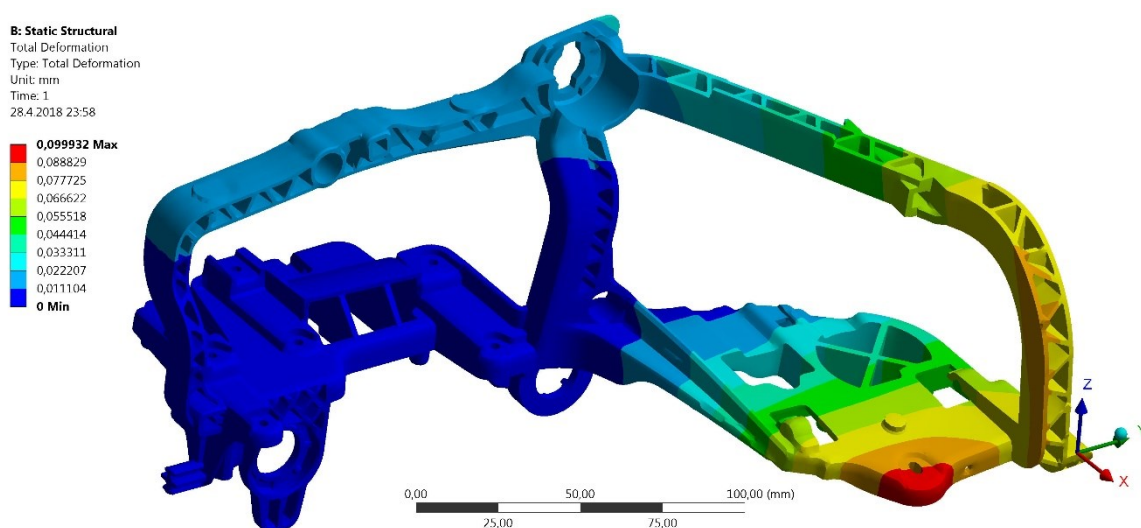
Obrázek 76 – Pátá varianta – vyznačená optimalizace (zadní část)

Na obrázku 77 je zobrazena pátá varianta, první nenulová vlastní frekvence, která je 52,464 Hz, touto variantou je splněno první kritérium, což je jeden z hlavních cílů optimalizace. Překročením 50 Hz hranice je kritérium splněno, není třeba dále optimalizovat nosný rám.



Obrázek 77 - Pátá varianta – první vlastní frekvence

Na obrázku 78 je vyobrazena celková deformace v páté variantě, která je také menší, 0,099932 mm.



Obrázek 78 – Pátá varianta – celková deformace

V tabulce 15 jsou vypsány všechny podmínky pro splnění zadání nosného rámu. Varianty jsou seřazeny vzestupně od původního nosného rámu po nejlépe vycházející optimalizovaný nosný rám.

Varianta [-]	První vlastní frekvence [Hz]	Celková hmotnost [kg]	Celková deformace [mm]	Počet elementů [-]	Počet uzlů [-]
1	43,866	0,25449	0,149	60 587	193 937
2	45,474	0,2345	0,12528	41 325	123 789
3	47,064	0,226	0,12059	39 350	126 069
4	48,36	0,2217	0,11656	38 460	115 144
5	52,464	0,23321	0,099932	44 394	143 637

Tabulka 14 - Srovnání všech variant

8 Srovnání původního rámu z materiálu Zytel s optimalizovaným rámem z materiálu Impet

Tato kapitola srovnává správnost optimalizovaného nosného rámu světlometu z materiálu Impet s rámem z materiálu Zytel. Sledovat je nutno dosažení nebo překročení první nenulové vlastní frekvence 50 Hz, celkovou hmotnost a celkovou deformaci. Srovnání probíhá na dvou nosných rámech z různých materiálů. První rám je z materiálu Zytel s původní geometrií, která je shodná s geometrií v první variantě. Druhý rám je z materiálu Impet s optimalizovanou geometrií, která je shodná s pátou variantou. Na oba dva rámy působí všechny zadané okrajové podmínky, včetně teplotní okrajové podmínky.

Materiál	Zytel	Impet
První vlastní frekvence při 90 °C [Hz]	50,95	52,464
Hmotnost [kg]	0,215	0,23321
Celková deformace při 90 °C [mm]	0,11501	0,099932

Tabulka 15 - Srovnání původní varianty Zytel s optimalizovanou Impet

V tabulce 15 jsou přehledně vypsány výsledky původní varianty z materiálu Zytel s optimalizovanou variantou z materiálu Impet, které splňují základní podmínku, a to rovnat se nebo přesáhnout hodnotu první nenulové frekvence 50 Hz. Dalším kritériem je porovnání hmotnosti, kdy výhodou je nižší hmotnost. V tomto kritériu je výhodnější materiál Zytel s hmotností 0,215 kg, která je oproti Impetu o 8 % menší. Předposledním kritériem, které se sleduje, je celková deformace. V tomto kritériu vyšel lépe nosný rám z materiálu Impet, jeho celková deformace je 0,099932 mm, o 14 % menší. Důležitým požadavkem zadavatele je ekonomické hledisko. Materiál Zytel je dvakrát dražší než materiál Impet.

9 Závěr, doporučení způsobu aplikace při použití materiálu Impet pro nosný rám

Záměrem diplomové práce je optimalizovat nosný rám světlometu z nahrazujícího materiálu tak, aby jeho vlastnosti vyhovovaly původnímu nosnému rámu z výchozího materiálu. Výpočty jsou zaměřeny na základní dynamické vlastnosti nosného rámu, to znamená na modální analýzu neboli výpočet vlastních frekvencí rámu. Dále se jedná o výpočty poměrné deformace a celkové deformace. Nosný rám je důležitou součástí konstrukce automobilového světlometu. Úkolem je docílit hodnotu první vlastní frekvence kmitání, alespoň 50 Hz. Experiment je proveden z důvodu srovnání výsledků s výpočtem ze SW Workbench na modální analýzu. Zároveň je snahou hmotnost a celkovou deformaci nosného rámu co nejvíce snížit.

Konstruktérský SW Catia a výpočtářský SW ANSA jsou poskytnuty nadnárodní firmou Varroc Lighting Systems s.r.o. Pro výpočty metody konečných prvků je použit SW Workbench, pro který je poskytnuta „výzkumná“ licence Vysoké školy báňské – technické univerzity v Ostravě prostřednictvím katedry Aplikované mechaniky. Experiment je proveden v laboratořích pro modální analýzu na katedře Aplikované mechaniky.

Úvodní kapitola se zabývá stručným popisem historie firmy Varroc Lighting Systems s.r.o. a historií světlometu. Zmíněné jsou moderní prvky světlometu, např.: adaptivní světlometry, které zlepšují náhled do zatáček při odbočování natáčením modulů, tím se zlepšuje bezpečnost silničního provozu. U druhů zdroje světla je zmíněno oblíbené „LED světlo“, které má výbornou svítivost a dlouhodobou životnost. Dnešní doba se zabývá vývojem laserového světla, které převyšuje vlastnosti dosavadních zdrojů světla.

V této diplomové práci je analyzován nosný rám, který měl být původně vyráběn z materiálu Zytel, ale z ekonomického hlediska bylo rozhodlo pro materiál Impet. Nosný rám z Impet je nutno optimalizovat, aby dosáhl stejných mechanických vlastností, jako rám z původního materiálu Zytel.

V třetí kapitole jsou popsány a hodnoceny dva materiály, Zytel a Impet. Zajímavostí je, že materiál Impet má při pokojové teplotě lepší mechanické vlastnosti než Zytel, ale při vzrůstající teplotě jsou lepší vlastnosti u Zytel. Základní údaje pro oba materiály je hustota,

kteřá je u Impet $1740 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a u Zytelu $1470 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, Poissonova konstanta, které je pro oba materiály 0,35, modul pružnosti, který se mění s měnící se teplotou. Při pokojové teplotě je mez pevnosti pro Zytel 12 000 MPa a pro Impet je 17 000 MPa. Při teplotě 90 °C se modul pružnosti mění pro Zytel na 9 200 MPa a pro Impet na 11 000 MPa.

Čtvrtá kapitola obsahuje práci s konečnoprvkovým modelem. Pro vytvoření sítě je použit SW Ansa, který tvoří síť ve dvou krocích. V prvním kroku je vytvořena povrchová síť, která kopíruje tvar nosného rámu, a z povrchové sítě je vygenerována síť objemová. Povrchová síť má větší variabilitu. Kvalita sítě je kontrolována dvakrát, zvlášť pro povrchovou a zvlášť pro objemovou síť. Síť je vytvořena pro složitost nosného rámu tetraedry s meziuzly. Síť je zadávána podle těchto kritérií: hodnota 5 pro poměr délek hran elementu v povrchové síti, rozměry 1–3 mm minimální a maximální délku hrany elementu, velikost 10 pro poměr délek stran u objemové sítě a Jacobian je určen na hodnotu 0,7. Jsou stanoveny tři okrajové podmínky zamezující posuvy v osách. Okrajová podmínka zamezující posuv pro všechny tři osy je uprostřed rámu. Okrajová podmínka zamezující posuvy v osách „x“ a „z“ je z vnitřní strany rámu z pohledu z automobilu. Okrajová podmínka zamezující posuvy v ose „x“ je v horní části rámu. Další okrajovou podmínkou je teplota 90 °C rámu, která reálně vzniká od zdroje světla při svícení z LED. Důležitá okrajová podmínka pro ovlivnění vlastních frekvencí je vytvoření hmotných bodů, které nahrazují hmotnost namontovaných komponentů na nosný rám. Velká hmotnost komponentů je u modulu High Beam, Low beam a větráku. Poslední okrajovou podmínkou je přiřazení gravitačního zrychlení ($9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) pro celý nosný rám.

Obsahem páté kapitoly je experiment pro modální analýzu. Experiment je prováděn na prototypu z materiálu Polyamid 2200, který byl vyroben 3D tiskem. Na skutečném modelu z Polyamidu 2200 je vyznačena síť 78 bodů. V SW PULSE LabShop je vytvořena stejná síť jako skutečném modelu se shodnými rozměry a body, které mají i stejné číslování. Skutečný rám z Polyamidu 2200 je nutné volně uložit, a proto je uložen na molitanovou podložku. Je určen referenční bod, kterým je zvolen bod s číslem 46 a na který je připevněn akcelerometr. Do všech vyznačených bodů na skutečném rámu z Polyamidu 2200 je ťukáno rázovým kladívkem přesně pětkrát. Pro srovnání je provedena modální analýza pro rám z Polyamidu 2200 ve SW Workbench. Při porovnávání se naměřené a vypočtené hodnoty neshodují. S největší pravděpodobností jsou odlišnosti výsledků je zapříčiněny materiálovými daty, která jsou k dispozici, a výrobou nosného rámu 3D tiskem, který

funguje tak, že nanáší tenké vrstvy materiálu na sebe, kde i malou nepřesností může dojít k ovlivnění materiálových vlastností. V SW Workbench je možné doladit modul pružnosti tak, aby odpovídal naměřenému modulu pružnosti z experimentu. Při doladění modulu pružnosti na hodnotu 1 150 MPa se podařilo vypočítat odpovídající vlastní frekvenci z experimentu, viz tabulka 12. Pro časovou náročnost přípravy a výroby přípravku na uchycení skutečného nosného rámu není proveden experiment na materiálové vlastnosti.

Šestá kapitola je věnována srovnání dvou materiálu Zytel a Impet na stejném modelu. Výpočty obou modelů jsou provedeny při teplotách 20 °C a 90 °C za stejných okrajových podmínek pro oba modely. Je stanovena první nenulová vlastní frekvence, celková hmotnost a celková deformace. První vlastní frekvence rámu ze Zytel je při teplotě 20 °C 57,214 Hz a při teplotě 90 °C 50,95 Hz. Zytel ztrácí svou dynamickou tuhost vlivem narůstající teploty přibližně o 11 %. První nenulová vlastní frekvence rámu z Impet při teplotě 20 °C je 54,534 Hz a při teplotě 90 °C je 43,866 Hz. Impet ztrácí dynamickou tuhost přibližně o 20 %. Celková hmotnost rámu ze Zytel je 0,215 kg a rámu z materiálu Impet je 0,25449 kg. Celková deformace při teplotě 90 °C je pro Zytel 0,11501 mm a pro Impet je 0,14877 mm.

Sedmá kapitola pojednává o optimalizaci nosného rámu z materiálu Impet. Nosný rám z materiálu Impet musí být optimalizován tak, aby první nenulová vlastní frekvence při teplotě 90 °C byla minimálně 50 Hz nebo vyšší. Dalšími kritérii jsou rovnováha s co nejnižší hmotností a dostačující tuhostí rámu a dosažení co nejmenší celkové deformace. Je vytvořeno pět na sebe navazujících optimalizovaných variant. První varianta je výchozím návrhem, od kterého se doladuje vylepšená druhá varianta. Při první variantě je použito 60 587 elementů a 193 937 uzlů. Celková hmotnost rámu je 0,25449 kg, první nenulová vlastní frekvence je 43,866 Hz a celková deformace je 0,149 mm. První variantu je nutné optimalizovat tím, že jsou přidány dvě žebra v horní části mezi rameny rámu, upraveno vyztužení spodní části rámu, kde jsou nahrazeny kosočtvercová žebra za šestiúhelníková žebra pro lepší tuhost. Poslední úpravou první varianty je zesílení prostředního sloupku rámu. Pro model druhé varianty je použito 41 325 elementů a 123 789 uzlů. První nenulová frekvence je oproti první variantě vyšší, ale stále nedostačující 45,474 Hz, celková hmotnost se snížila na hodnotu 0,2345 kg a celková deformace je 0,12528 mm. U druhé varianty je optimalizována spodní část, kde je vytvořeno více menších žebrovitých šestiúhelníků. Dále prochází proměnou prostřední sloupek a také vzniká lem pod modulem Hight Beam. Ve třetí variantě je počet elementů 39 350 a uzlů 126 069. První vlastní frekvence je 47,064

Hz, stále není splněna podmínka, celková hmotnost se opět snížila na 0,226 kg, celková deformace je 0,12059 mm. Předposlední třetí optimalizace se přibližuje zadání, je změněn profil prostředního sloupku a zároveň jeho prožebrování, zvýší se tím jeho tuhost a zachová jeho objem. Obnovou prochází i lem pro Hight Beam a horní uložení, kde je vytvořen otvor pro mezičlánek pro lepší montáž rámu. Počet elementů ve čtvrté variantě je 38 460 a uzlů je 115 144. Je dosaženo hodnoty první vlastní frekvence 48,36 Hz, stále je nutno optimalizovat, hmotnost rámu je snížena na 0,2217 kg, celková deformace je nižší na 0,11656 mm. V páté variantě, která je zároveň čtvrtou poslední optimalizací je vyztužena plocha pro umístění Low Beam jedním trojúhelníkovým žebrem. Dále jsou upraveny otvory na větrák a vytvořena „kapsa“ umožňující zlepšení proudění vzduchu. Další úpravy jsou na prostředním sloupku. Počet vytvořených elementů je 44 394 a počet uzlů 143 647. Je dosaženo zásadní podmínky pro první nenulovou vlastní frekvenci, která je vyšší než zadaných 50 Hz a činí 52,464 Hz, optimalizací je nepatrně zvýšena hmotnost rámu na 0,23321 kg a zároveň je snížena celková deformace na 0,099932 mm. Hlavní podmínka je splněna přesáhnutím první vlastní frekvence 50 Hz, není třeba optimalizovat dále, pátá varianta je konečná

V osmé kapitole je srovnáván původní rám z materiálu Zytel s optimalizovaným rámem z materiálu Impet. V tabulce 14 jsou uvedeny výsledky srovnání. První nenulová vlastní frekvence při teplotě 90 °C obou materiálů přesáhla hranici 50 Hz. Rám z materiálu Zytel má hmotnost 0,215 kg, rám z materiálu Impet má hmotnost 0,23321 kg. Celková deformace při 90 °C je nižší u rámu z materiálu Impet.

Lze konstatovat a případně doporučit pro sériovou výrobu nosného rámu z materiálu Impet za předpokladu, že by byl nosný rám optimalizován postupem daným v této diplomové práci. Nosný rám z materiálu Impet optimalizovaný popisovaným postupem optimalizovaný je adekvátní náhradou rámu z materiálu Zytel, je dosaženo všech zadaných podmínek zadavatelem i s přihlédnutím k ekonomickému hledisku, kdy Impet je dvakrát levnější než Zytel. Nosný rám z materiálu Impet může být zařazen zadavatelem pro jeho sériovou výrobu. Z hlediska ekonomického, funkčního a bezpečnostního je nosný rám z materiálu Impet po optimalizaci plnohodnotným ekvivalentem původního rámu z materiálu Zytel.

10 Seznam použité literatury

- [1] Kolář V., Němec I., Kanický V. : FEM Principy a praxe metody konečných prvků. Computer Press, 1997.
- [2] Kolář V., Kratochvíl J., Leitner F., Ženíšek A. : Výpočet plošných a prostorových konstrukcí metodou konečných prvků. SNTL, Praha 1979.
- [3] Crisfield M. A. – Non-linear finite element analysis of solids and structures. John Wiley & Sons Ltd, Baffins Lane, Chichester, 1997.
- [4] <https://varroc.jobs.cz/>
- [5] <https://www.varroclighting.com/aboutUs/SitePages/History.aspx>
- [6] <https://www.sterba-bike.cz/produkt/h-miller-co-cetolite-acetylenova-lampa>
- [7] <http://www.annexes.es/p2069983-lampara-halogen-h7-12v-55w-px26d-m-tech.html>
- [8] <http://www.autoshop24.cz/xenony/eshop/4-1-Vybojky-dily-originalni-xenon/-4-/5/368-Xenonova-vybojka-D3S-5000k-original-xenonove-vybojky-xenony>
- [9] <https://www.autorevue.cz/do-aut-se-ted-montuji-ctyri-typy-svetlometu-vyznate-se-v-nich>
- [10] <http://www.bmw-club.cz/clanek/bmw-m4-concept-iconic-lights-204>
- [11] <https://www.autokaleidoskop.cz/Novinky/Opel-Insignia-devet-funkci-AFL-/>
- [12] <http://autospec.site/2016/08/10/audi-matrix-led-svetlometu-technologie-funguje-to/>
- [13] <http://www.cpinfo.net/scissc/Zytel/51G35HSL.pdf>
- [14] <https://www.celanese.com/>
- [15] Help System: ANSA version 17.0.2. BETA CAE Systems: On-line reference manual [online]. Customer Service & Support, 2017 [cit. 2017-04-14].
- [16] <https://www.eos.info/en/search?q=PA+2200>